



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

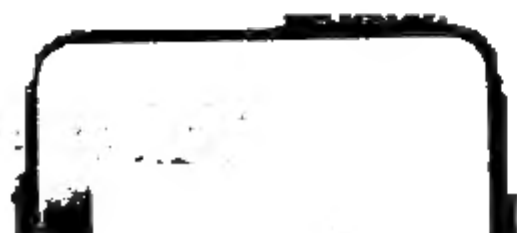
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>



Storage

Mat.

~~4.~~

TN
2
AG

istration
ar le Mi-
ecteur du

secrétaire
is.
rofesseur
ines.
hargé du
l'indus-

ofesseur à
es.

nspecteur
nines.
ief, pro-
sure des

asseur à
is.
re de /a

ANNALES
établisse-
ines, soit,
et étran-

rent être
M. l'In-

ar feuille
ntaine ou
nches est

paraissent

acrés aux
stratife et
t 24 plan-

pour les

ASSIN DE FUYEAU

nts de la France méridionale.
ortes de notre premier port de
cette situation privilégiée lui
aux et extérieurs, la qualité
en tant que lignites et la ré-
in qui contient les couches
emps été des éléments sérieux
région carbonifère. Pour en
se reporter aux chiffres ci-
lières différentes époques, en regard
tre pays, celle du bassin des

1.800	2.453.000	0,016
1.190	4.078.000	0,018
1.620	5.921.400	0,020
1.340	7.824.000	0,016
1.450	9.395.000	0,017
1.300	10.317.000	0,015
1.200	10.708.000	0,018
1.300	11.951.000	0,017
1.200	11.600.000	0,015
1.200	12.960.000	0,015
1.300	12.739.000	0,015
1.000	12.984.000	0,015
1.400	13.464.000	0,016
1.000	13.350.000	0,019
1.000	13.222.000	0,020
1.000	13.303.000	0,023
1.800	17.422.000	0,024
1.000	16.908.000	0,021
1.200	16.957.000	0,020
1.000	17.107.000	0,021
1.200	16.906.000	0,023
1.000	16.961.000	0,023
1.000	17.111.000	0,025
1.000	19.362.000	0,024
1.000	19.900.000	0,028
1.000	21.000.000 (?)	0,022

apport $\frac{a}{b}$ montre que la part
a production totale du pays, a

1
2
3

2

B

—

➤

4

1

B



P

t

Г

1

◆

t

1

1

1

crétacé.
totalité
ordinaire
pour la
capitale
intenant
ence de
si attri-
ment s'en
romina-
sille est
icipaux.
ou reste
te. Et il
en plus
ité qu'il
ondenser
sur cela
tre d'un

ont bien
on Pro-
nant les
s incon-
ec cette
t par les
France,
nte que
e néces-
ance, se
Il suit

stres des
dété d'é-

LE BASSIN DE FUYEAU

précédent arrive un nouveau système minéralogique une grande ent : argiles et marnes inférieures calcaires marneux solides, le tout surmonté d'une très importante et parfaitement développé auprès d'elles, à l'est de la grande voie ferrée, a reçu de M. Matheron le nom de un des traits les plus saillants dans le de l'Arc. D'un point quelconque et, lorsqu'on observe le massif de accolé à mi-hauteur de cette chaîne de forme grossièrement ovale qui une masse abrupte calcaire buttant la chaîne secondaire. Cette corniche a barre du Cengle; elle n'est pas le stratigraphique accolée à Saintes qui la surmontent sur le méridien lonin forment comme une calotte et cette masse constitue ce qu'on le Cengle. Lorsqu'on la suit de l'œil on découvre peu à peu son caractère âpre et avancé; les pentes beaucoup plus dans la direction de Puylobier et les formées par les étages inférieurs. l'étage vitrollien prend un développement considérable; des barres importantes des marnes rouges et, traversant, le et de Langesse, la route de Mart le plateau formant la rive gauche de ces barres, partie supérieure du sont appuyées les culées de l'aqueduc Matheron cite comme forme spéciale à *Arga* et *Draparnaudi*, *Planorbis sub-obliqua*. C'est un nouveau terme

ET SUR UN GRAND TRAVAIL

dans cette grande série dont la clarté viendra tout à l'heure. Toutefois on rencontre d'autres calcaires qui la surmontent, d'un aspect et formant la colline du Mont de l'Espérance et une analogie de formes qu'on trouve dans la *phosporite lapidaire*, depuis la corniche dans les bancs supérieurs du Morvan, d'une manière très marquée. Les *Bulinus cylindricus*, la *Lymnaea aquensis*, *rotundatus* et le *Pupa subantiqua* rencontrent le plus fréquemment dans le taiguet. Il ressort de là que le vitrail de toute cette masse qui, partant des environs de Le-Rouge, comprend le Cengle et la montagne de l'Espérance.

Toutefois avant d'entamer les porphyrites occupant le détroit d'Aix ou des Milles, on aperçoit assez naturellement une dernière zone ou blond dont les tranches se voient sur la route d'Aix près du pont dit des Trognons que M. Matheron a distinguées à ce point. Sur cette zone la grande masse calcaire sont entre autres la *Lymnaea Micheneri*, l'*Achatina Marionii*, espèce nouvelle, l'*Achatina Nodoti* des environs de

Tout cet ensemble disparaît sous l'épais manteau des poudingues et même plonge sous le terrain à gypse, les environs de la ville montrent les bancs de la zone et celui-ci s'enfonce sous la zone.

Ces derniers termes de la zone au point de vue du synchronisme sont toujours pour guide le savant géologue des assimilations des géologues, montrant les étapes successives des âges, donnant surtout une idée

LE BASSIN DE FUVEAU

ivent contemporaines de ces grès. la série descendante et transpor- vitrollien. L'étage de Rognac ou é d'une grande extension et l'on corder à ce genre une importance de la classification, surtout quand tres espèces communes. Or dans e, M. Vidal, ingénieur au corps écouvert « dans un seul et même és contenant des espèces du ga- laute-Garonne (couches d'Anzas) s à celles de l'étage de Rognac, *rmata*. Cette coïncidence jointe à u garumnien supérieur et moyen gle proprement dites, permet de au soit les couches de Rognac à *rmata*, soit les couches franche- it celles d'embouchure ou d'eau catalan, ces dernières formant entre les deux types d'eau douce

envisagée plus haut pour l'étage limite inférieure de ce qui, dans ntera le garumnien inférieur? s groupes locaux on a vu plus des lignites proprement dit ou deux termes distincts ont trouvé on a appelé l'horison' des physes né principalement de calcaires és et argiles, puis au-dessus de s bégudiens. Or on retrouve des izon des physes ; d'un autre côté

¹ Société géologique, 1876, page 421.
² Société géologique, 1875, page 448.

ÉPAISSEURS approximatives dans la vallée de l'Arc.	SÉRIE PROVENÇALE. (Désignations locales.)		SÉRIE CLASSIQUE.
mètres			
200	Terrain sextien.	Gypse d'Aix. Marnes et poudingues des Milles.	Parisien supérieur. Parisien moyen. (Sables de Beauchamp.)
30	Calcaire de Cuques.	<i>Planorbis LymERICI.</i> <i>Limnaea MICHELINI.</i> <i>Achatina MARIONI.</i>	Parisien inférieur. (Calcaire de Provins.)
100	Vitrollien.	Calcaire du Montaiguet. <i>Bulimus Hoppei,</i> <i>Bul. Subcylindricus.</i> <i>Limnaea Aquensis,</i> <i>Planorbis Subrotundatus.</i> <i>Strophostoma lapicida.</i>	Calcaires et sables de Bracheux et de Rilly. Nummulitique.
30		Barre du Cengle. <i>Physa praelonga</i> et <i>Ph. Draparnaudi.</i>	
200		Argiles rutilantes avec argiles de Châteauneuf-le-Rouge. (Petites couches de lignites.)	
80	Rognacien.	Calcaire de Rognac, de Gardanne et de Rousset.	Garumnien inférieur.
270		Argiles à <i>Lychnus, Cyclostomes, Melania armata.</i> <i>Paludina Beaumontiana.</i> <i>Reptiles.</i>	
350		Grès de la Bégude et calcaires de la fabrique de soude (Chara) Calcaires à <i>Physes</i> et <i>Cyclostomes</i> avec <i>Anostomes</i> et <i>Lychnus</i> . (Couche de lignite de Bidaou.)	
200	Fuvelien.	Calcaire à lignite. <i>Cyrenes striées</i> à profusion, <i>Unios,</i> <i>Carepaces de Chéloniens.</i>	Craie de Maëstricht. (Dordonien de Coquand.)
80	Valdonnien.	Marnes et argiles. <i>Melanopsis.</i>	Sénonien supérieur. (Campanien de Coquand.)
		Marnes et calcaires marneux. Lignite du Plan-d'Aups. Rognons de fer carbonaté. <i>Turritella Coquandiana.</i> <i>Cyclolites elliptica.</i> <i>Ostrea acutirostris.</i> <i>Ostrea Matheroniana.</i> <i>Ostrea irra.</i> <i>Rhynchonella difformis, etc., etc.</i>	Sénonien inférieur. (Santonien de Coquand.)
Calcaire à <i>Hippurites organiscus</i> . — Turonien. — Provençien de Coquand.			

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

ous permette maintenant les quelques ré

ification qui précède est, on le voit, fondée sur des analogies de formes organiques avec des rapprochements pétrographiques tout cela ne s'impose pas, semble-t-il, à une rigueur déductive et l'éclat de l'évidence ne s'en étonner outre mesure. On se demande maintenant philosophiquement un vœu de l'école actuelle. On est ici en présence, sauf quelques exceptions comme les Alpes, de roches qui ont un caractère local et ne peuvent former que des points de repère rares. Les points où le doute n'est pas permis, les limites supérieure et inférieure de la période, comme aussi ceux pour lesquels les données géologiques pures participent à l'argumentation (comme du nummulitique sur le vitrollien) sont rares. Le repère qu'on peut considérer comme le plus certain est celui qui sépare l'époque tertiaire, l'école actuelle, de l'époque quaternaire, l'école actuelle, trop à s'en étonner, puisque il est acquis que les dislocations sont fréquemment d'origine tertiaire n'ayant point de rapport avec les séismes, et que l'idée de continuité dans les temps, tend de plus en plus à régner dans la géologie, à garder ici le rôle de simple rapporteur. Dernier mot sur ce sujet : lorsque l'on compare le dépôt du calcaire de Cuques et celui des Milles, il y a eu incontestablement un important de bascule qui a émergé l'Arc et fait passer par le détroit des Milles le lac de Foveau, au nord de la chaîne, et on constate que le nouveau dépôt

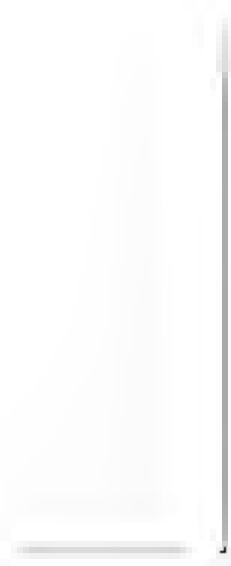
I DE FUYEAU

es poudingues, indices de
ré ainsi une période de
mun avec la précédente,
rée, on serait disposé, en
gnaient à peu près sans
gt ou trente ans, à croire
à a mis fin dans nos con-
litude de quelques formes
es dépôts de Saint-Parres
minime importance en
ce pris, on peut le dire,
ques rentrerait dans la
e, dont rien comme pé-
le détacher. On ne peut
nologie qui existe, toute
celui du terrain nummu-
nt des Pyrénées et au
plaine du Languedoc se

*de Fuyeau au point
gique.*

à haut de la composition
is lequel se sont déposées
parlé, on cherchait à se
des eaux dans le bassin
nduit aux considérations

un bassin complètement
urs de calcaires secon-
ai déjà parlé, et celui de
te encore le cours d'eau
rs communiqué avec les



ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FOVEAU

lont les bancs sont souvent sillonnés. Il résulte : qui tombe d'eaux zénithales sur les affleure-ine à l'intérieur rapidement.

le et la principale est la présence des cassures, s noms locaux de *partens* ou de *moulières*, ou i classique de failles, augmente dans une pro-sidérable la faculté de conductibilité des eaux. est une simple cassure plus ou moins serrée llation ou avec une dénivellation insignifiante. réquemment une moulière réduite à sa plus ession.

s remplissent tantôt l'office de barrages, tantôt iduites d'eau. Cela dépend entre autres choses ur et de la compacité de leur remplissage. Sur l. 1, qui représente l'assemblage des conces-tées dans le bassin, j'ai figuré sept accidents. arqués F, F', F'' ont produit des dénivellations dans des directions divergentes.

es failles ouvertes plus ou moins, et redoutables ient au point de vue des eaux ; les autres ont s dénivellations de plusieurs mètres, pouvant à 25 mètres, et sont à peu près parallèles entre la dernière qui les coupe d'équerre. Les deux ' et /' ont un rôle capital au point de vue des ont des failles barrages à l'abri desquelles les de Saint-Savournin (nord et sud) jouissent ité relative, quant aux venues d'eau, lesquelles gine au nord et à l'est.

remarquer que toutes les failles sont situées tie sud du bassin, c'est-à-dire à l'intérieur ou je d'une sorte de golfe profond, déterminé par nent du promontoire secondaire de Regagnas, ron détaché de la chaîne du mont Olympe. On très bien que dans la partie du bassin à lignite itérieur ou au voisinage du golfe en question,

DES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

rs avec les dislocations dans le sens horizontal, elle y est beaucoup plus aux abords des failles, mêmes importées aux mêmes niveaux, et très souvent les souterrains dépouillent le long des veines de charbon tout à fait saines. On s'est demandé si ce fait n'était pas l'antécédent par rapport aux failles ayant permis aux veines de s'exercer pendant un temps beaucoup plus longtemps que sur les secondes. Mais, au moins pour les principales moulures indiquées par M. de Villeneuve, non qu'il faille plus haut mentionné, lequel ne paraît pas attirer l'attention, mais comme conséquence de la direction auxquelles il attachait comme importance capitale. On peut voir en effet aux pages 100 et 101 de la *Description géologique et minérale* que les failles et moulures du bassin sont nées à quatre époques différentes, dont la première assignerait dans le bassin la direction des veines. En fait, l'examen attentif de la surface de celui des travaux intérieurs, n'a jamais permis aux failles ou aux moulures les considérations de tel ou tel accident par tel ou tel fait, mais peut déduire en général l'antériorité du premier au second. Observons même que les M. l'inspecteur général Daubrée ont établi l'antériorité résultant du rejet n'a pas une valeur. En fait tout se passe dans le bassin qui était en présence d'un vaste craquelage, les mouvements seraient contemporains. Chercher une autre cause à la concordance avec les joints sans dénivellation, et elle :

verticale sans dénivellation suppose néces-

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A

sairement pour la produire un effort retraits, soit mécanique.

Des failles peuvent être serrées, de lation ne sauraient l'être; ils doivent aux eaux un passage généralement fait tant plus que les mouvements horizontaux donné naissance à la cassure au point toutes choses égales d'ailleurs, et lesquels ils auront agi auront été plus étirables; le plus ou moins d'ouverture rôle de l'amplitude verticale de la faille enferment les couches de charbon de au plus haut degré la condition de la couches; quant aux poussées latérales ment violentes dans la vallée de l' temps que MM. Matheron et de Ville retournement des couches du Tholonetagne de Sainte Victoire, mais ce phénomène localisé sur la rive nord de l'ancien lac méridional, depuis Mimet jusqu'au delà exactement les mêmes retournements des inférieures ou saumâtres du bassin, sous le turonien qui lui-même paraît s' nomanien, celui-ci à son tour, sous l'ablant vouloir passer au-dessous des de l'Étoile. Ce phénomène, sur lequel j loin, n'a pu évidemment se produire a horizontaux considérables; en dehors moulins, je suis disposé à y voir la ration en masse de tous les calcaires d

Les joints ne se révèlent parfois c ments d'eau et font penser à ces fen simples jeux de lumière dans les gla M. l'inspecteur général Daubrée d' (*Études synthétiques*, page 315).

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

Je finis avec l'origine des moulières, je dirai encore de leur direction. On ne peut pas les rapporter à une, à deux ou trois orientations autour desquelles elles seraient peu; cependant leur direction est bien de quelque sorte, et voici ce qu'on peut dire : Depuis la faille Jean-Louis, c'est-à-dire dans toute la partie du principal lambeau lignitifère, dite région des accidents, ces accidents sont à peu près perpendiculaires à la direction des couches, c'est-à-dire à la direction générale du soulèvement (moulières de Trets, des Miravettes, l'Albinote, etc.); dans le lambeau de Gardanne et de Félicie, on observe la même perpendicularité par rapport aux affleurements ou à la direction des couches; enfin en s'approchant de la partie du grand lambeau qui prend la direction nord-sud, on rencontre des accidents qui sont au contraire à peu près parallèles à la direction des couches et à la séparation des terrains soulevés (moulières de Prosper et Bonaventure). Ce fait se explique assez facilement : on comprend que le soulèvement lent ou brusque doit produire des accidents dans cette direction. Quant à la direction quasi perpendiculaire, je ne m'en rends pas aussi bien compte, mais c'est incontestablement la mieux marquée. Qu'il en soit, les failles pour une faible part, la direction générale des calcaires et spécialement le phénomène des moulières ont, comme cela a été dit plus haut, influencé le régime hydrologique de la vallée son caractère et commandent, comme on va le voir, le système le plus rationnel à adopter. Les eaux pluviales, au lieu de pénétrer dans les travaux par le cheminement horizontal à partir des affleurements perméables, y arrivent directement et par suite avec soudaineté. Il suit de là que, si l'on emploie la puissance mécanique employée pour les travaux inférieurs aux galeries d'écoulement, les travaux inférieurs aux galeries d'écoulement sont fatalement noyés de temps en temps, lors

ET SUR UN GRAND TRAVAI

des chutes torrentielles qui relèvent d'eau ou, pour parler plus exactement, Gette surface n'est au cours d'eau souterrain occupant véritablement les parties profondes de pour niveau inférieur constant le toit les argiles de la Bégude qu de Velaux et de Rognac, pour les sources naturelles de la vall divers points, le niveau même d mines. On se ferait évidemment très éloignée de la vérité en se une étendue d'eau à surface continue comme un niveau aquifère dont s'anastomosent entre eux et baignés de toutes formes et de toutes sorte que la surface aqueuse est de la surface hydrostatique du bas perméabilité des calcaires est, très différente de celle des sables perméabilité fragmentaire, la sectionnaire; cette nature des choses variations considérables dans le niveau pour des quantités relativement faibles d'eau infiltrée. On peut avoir une hauteur par la Pl. III qui donne, de l'eau dans le puisard et, trop principal d'épuisement. On reconnoît les moyens d'épuisement qu'on peut employer à la production, malgré de aux cotes 252 (Castellane) et 250 du puits Léonie, à la cote 122 mètres seulement au-dessous d'écoulement a été prise par les espaces de quinze années, que la du

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

été moindre de quatre années, en y comprenant le employé pour remettre tout en état. Conçoit-on une on plus intolérable pour une grande exploitation? portant la quantité d'eau enlevée à la quantité de n extraite, on voit que de 1868 à 1882 inclus on pé de 6 à 30 mètres cubes et en moyenne 15^m,5 tonne de charbon sortie, et cela, remarquons-le ans tenir compte des masses bien plus considérables tent des galeries. On s'explique ainsi que les frais sement aient pu dépasser en certaines années 1^f,30 nne. 16 p. 100 des dépenses totales, et encore ces s de 1^f,30 et de 16 p. 100 étant calculés d'après la té de charbon totale exploitée, et une partie plus ou grande de cette quantité provenant d'une région e à un régime différent de celui des deux grands ervant à l'épuisement, il y aurait lieu de les majorer ement.

re de simple aperçu et pour avoir une idée de la dif- e de niveau que peut imprimer à la nappe souter- ne pluie importante, citons les chiffres suivants : les de 100 millimètres en 24 heures ne sont pas très ans le Midi. Concevons une de ces pluies tombant à roque où déjà les réservoirs souterrains sont imbi- admettons aussi que la pluie quoique fort abon- n'a pas eu ce caractère de trombe qui donne de telles tés que l'infiltration n'a pour ainsi dire pas le temps aire (*). Il résulte des études de M. de Villeneuve (*Ann- les mines*, 1854) que la filtration sous le climat mé- néen correspond annuellement à une nappe moyenne 7 millimètres de hauteur; c'est à très peu près

n peut citer comme exemple tout récent de ces phénomènes ologiques exceptionnels du Midi la pluie qui, dans la nuit u 27 octobre 1882, a versé, en six heures, 139 millimètres à

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

50 p. 100 de la moyenne annuelle tombée. Adm que dans une pluie de 100 millimètres, il n'en passe que 25 p. 100, que 20 p. 100. De quelle hauteur ces 25 millimètres vont-ils élever le niveau? Pour le savoir, il faudrait évidemment connaître le rapport de la surface réelle, déduction faite des polyèdres non imbibés, à la surface du terrain absorbant. Or, sans attacher à une fraction plutôt qu'à une autre l'idée d'exactitude, on peut bien se représenter cette fraction à $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{100}$ peut-être. Cela correspondrait à des élévations de 2 à 2^m,50 ; de 4 à 5 mètres à 12^m,50. Et ce qu'il importe aussi d'observer, c'est que la vitesse d'arrivée de ces eaux en un point où un émetteur sera installé sera bien plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que si l'on a affaire à des couches de sable ou de grès, à cause du frottement infiniment plus grand dans le second cas que dans le premier. On arrive ainsi à comprendre ce que fait voir la Pl. III, je veux dire l'amplitude du soulèvement soudain du niveau *moyen* de la nappe souterraine et l'impuissance des engins d'épuisement les plus considérables.

Je viens de dire : le niveau *moyen* ; il est clair, en effet, que l'élévation de cette nappe ne se fait pas comme celle d'une surface qui se déplacerait parallèlement à elle-même, mais bien comme une surface passant toujours par le niveau de la mer aux embouchures de la vallée et qui, de cette espèce de charnière, monterait ou descendrait suivant les saisons ; il résulte de là que les variations de hauteur sont d'autant plus grandes que l'on considère une section de la nappe plus éloignée de l'embouchure. Alors, plus on considérera des points à l'est et plus on aura chance de voir une pluie déterminée produire des élévations subites d'eau de plus grande amplitude, autrement dit, plus les moulières seront à une altitude élevée, plus elles seront redoutables. Ce fait si bien connu dans le pays, on le voit, une explication fort simple.

Il en est un autre également remarquable que je crois pouvoir rattacher au même ordre d'idées. J'ai dit plus haut que le bassin pouvait se partager en deux régions distinctes : celle des failles, au sud, et celle des moulières, au nord. Qu'il n'y ait pas de faille dans toute la partie du bassin qui s'appuie avec une direction est-ouest sur le revers de l'éperon de Regagnas, cela peut s'expliquer par le mouvement très lent de soulèvement de ce promontoire, lentement attesté d'autre part, de la manière la plus nette, la transformation des eaux devenues progressivement douces de salées qu'elles ont été au début ; mais pourquoi pas de moulières dans la région de Peypin et de Saint-Savournin ? Ce ne sont cependant pas les joints qui manquent. Il n'y a pas de région plus fissurée, à tel point que cette fissuration et les très nombreux petits ou grands travers-bancs qu'elle entraînait dans la galerie de roulage étaient la seule cause pour laquelle, pendant de longues années, les exploitants, par une économie bien mal entendue, se sont refusés à introduire les chevaux dans la mine pour le roulage intérieur, bien qu'il comportât des galeries de 1.200 à 1.500 mètres. Les calcaires sont d'ailleurs les mêmes que sur le revers de Fuyeau et de Trets.

La raison de cette absence de moulières me paraît être que la région exclusivement failleuse n'est pas dans le bassin de l'Arc, mais bien dans celui de l'Huveaune ou plus rigoureusement dans celui du Merlançon, son affluent. Ce petit cours d'eau, dont le bassin de réception est insignifiant, ne saurait donner lieu à une nappe souterraine importante et l'on ne peut trouver là les grandes et brusques dénivellations dépendant, dans la vallée de l'Arc, des phénomènes que j'ai examinés plus haut. Cette explication paraîtra, je l'espère, très frappante en superposant un plan des travaux au plan de surface. La faille Jean-Louis qui dessine le col séparant les vallées de l'Huveaune et de l'Arc termine la région des failles et immédiatement

après débute la région des moulières par celle de la Dubreuil (*).

CHAPITRE II.

HISTORIQUE DE L'ÉPUISEMENT.

De l'ensemble des considérations précédentes, il résulte que le seul système pouvant assurer l'assèchement des travaux souterrains du bassin de Fuveau, c'est celui des galeries d'écoulement. Cette conviction qui aujourd'hui ne compterait pas, je pense, un seul récalcitrant, ne s'est pas établie sans contestation; maintenant qu'on peut la soute-

(*) Pendant l'impression du présent travail a paru, dans la 2^e livraison de 1883 de ce recueil, une note de M. l'ingénieur Lodin, sur certains combustibles de l'Istrie et de la Dalmatie, dont la situation géologique et les caractères offrent avec ceux du bassin de Fuveau des points de contact fort intéressants. Ainsi l'on peut y signaler d'abord l'analogie de position dans la série géologique générale. Il est manifeste que l'étage liburnien de M. G. Stache représente tout ou partie de la série beaucoup plus complète que l'on trouve en Provence. La coupe transversale de la vallée de Carpano, donnée à la page 217, où nous voyons se succéder de haut en bas la série: terrain nummulitique, calcaires à Chara, couches de Cosina avec veines de lignite, puis enfin, niveau des lignites exploités, le tout reposant sur les bancs à hippurites, offre avec la coupe détaillée donnée à la page 16 de la présente étude des rapports de similitude très marqués, aussi marqués qu'on a le droit de l'espérer en comparant deux séries très éloignées comme position géographique, et l'une complète, l'autre atrophie.

Nous y retrouvons également (pages 219 et suivantes) et d'une manière frappante les moulières de Fuveau, dans les entonnoirs du Karst, judicieusement attribués aux mêmes causes. Tout y est: la fracture préexistante et finissant en pointe, la corrosion et l'altération chimique postérieure, les affleurements à l'aspect chaotique et déprimé, les dépôts subséquents de calcaire spathique dans les fentes, et enfin ce limon rouge ou jaune (*terra rossa*) qui

nir en l'appuyant non plus seulement sur des vues, mais sur des observations, l'étude des faits et une expérience trop souvent répétée, cela paraît tout naturel; il n'en a pas toujours été ainsi, et il ne faut pas remonter à beaucoup d'années pour trouver un exemple mémorable de la dernière et considérable erreur commise à ce sujet.

Il ne sera pas sans quelque intérêt d'indiquer quelles ont été les formules générales de l'exploitation du bassin au point de vue des dangers qu'y ont toujours offerts les eaux. On peut distinguer à cet égard trois périodes assez distinctes.

La première, qui commence au début même de l'exploitation, est celle de l'épuisement sans engin ni galerie : on fonce des puits inclinés dans le plan des couches ou à travers-bancs et l'on choisit pour cela la partie centrale d'une *branche*, c'est-à-dire d'une partie saine comprise entre deux accidents, moulière ou faille. On s'approche avec précaution et pendant la saison sèche des limites de la branche; généralement et quand le travail a été bien conçu, on perce la moulière au-dessus de la surface de la nappe; les eaux de pluie ou de source s'y rendent : c'est un *puits* d'écoulement. On travaille alors en *pendis* (chantiers au-dessous de la voie de roulage); puis quand vient la saison pluvieuse (avril et mai et surtout octobre et novembre), on bataille avec les eaux, on abandonne les *pendis*, puis parfois la galerie de roulage elle-même; les travaux sont noyés : on y rentrera à la saison sèche prochaine.

Les choses se passent ainsi jusque vers 1829; vers cette époque, et sous l'impulsion du service des mines dont les

empâte les blocs et qui est évidemment notre argile des moulières.

Nous ne voyons pas que la considération des directions affectées par ces accidents ait préoccupé M. Lodin; il est à croire que l'on a principalement affaire aux *ronds de mou* des mineurs de Fuyeau se présentant sur des dimensions parfois colossales.

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉC

procès-verbaux de visite attestent les conse d'écoulement dite de la Devillière ou de C entreprise à la cote 252,70 pour assécher les Grande Concession; en même temps ou à (1830-51), les concessionnaires voisins de Pe Savournin (Nord) ouvrent à la cote 258,60 l de Valdonne.

Il n'est que juste toutefois de signaler q dans la partie ouest du bassin, sur le gran Gardanne, la vraie solution avait été appliq décision remarquable pour l'époque et la loc lerie d'écoulement entreprise à la cote 241 tiquée pour pouvoir exploiter la partie du te s'étend sur les communes de Gardanne et de sous la protection de ce travers-bancs ou g dont la longueur dépassait 400 mètres, que to entrepris sur la concession de Gardanne ont p tés jusqu'au percement de la galerie Saint-P pris tous ceux du puits Félicie qui pendant années n'ont pas laissé de fournir un quantu Foncé verticalement en 1854, jusqu'à la cote Félicie a prouvé une fois de plus, lorsqu'on a fondir jusqu'à la grande mine, en 1869-70 (c même dans les régions en aval du centre du vait compter sur les difficultés de tout épu que l'exhaure naturel.

On marche ainsi sous la protection des ouv dans les régions qu'ils desservent (concession Saint-Savournin (Nord) et Grande Concessi une dizaine d'années à peine; mais dans la p la concession de Gréasque et de Belcodène la du sol ne se prêtant pas aussi facilement à l'ou galerie à une cote utile, lorsque vers 1838, Armand et C^e, désirèrent donner une plus gran aux travaux, on ne voit d'autre moyen d'épuis

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FOVEAU

importante. L'expérience n'a pas encore appris la nécessité des ouvrages d'assèchement naturel. On voit (1840) la machine dite du Rocher-Bleu, capable pour élever 3 mètres cubes par minute d'une profondeur de 28 mètres, en ne donnant pas plus de 10 coups d'eau avec une pression de 3 atmosphères. On essayait, même dans les hivers pluvieux, « maintenir constant les travaux à sec ». (Voyez *Mémoire de M. Dinaux des mines*, 1842, page 5). Il est toutefois à constater que dès ce moment il semble que l'on se refuse à concevoir quelques doutes sur l'efficacité de la machine; on manque de décision et de courage, plutôt d'espérance; on lit, en effet (page 4 du mémoire) : « Une galerie destinée à assécher l'exploitation allait entreprendre, à un niveau plus bas que celui des travaux, aurait eu d'ailleurs une trop grande profondeur pour que l'on put songer à l'exécuter. » C'est là qui effraie, sans quoi on n'hésiterait pas.

Les années s'écoulent et la preuve est faite : l'excellente machine du Rocher-Bleu, qui avait parfaitement réalisé les choses que l'on attendait d'elle, qui, transportée au puits de Sers, rend encore à l'heure qu'il est (1883) des services, la machine du Rocher-Bleu est impuissante à entreprendre, en juillet 1842, la grande galerie de Sers ou du Rocher-Bleu, à la cote 230,120.

Enfin, pour l'époque surtout, un travail exceptionnel, et qui n'a été l'œuvre que de l'homme, l'homme l'ayant conçu et décidé deux ans seulement après l'essai de la machine d'épuisement qui était déjà une affaire, le fait surtout de l'avoir mené à bien, est un grand honneur à la compagnie Michel, et à son personnel dirigeant. La galerie, poussée avec une activité irrégulière, suspendue même pendant de longs temps, arriva enfin, en février 1848, à rejoindre le puits n° 15 ou du Rocher-Bleu, après avoir coûté

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y

745.500 francs, dont les $\frac{2}{3}$ environ *affinées*, c'est-à-dire à l'épuisement!

Le fonds du puits n° 15 étant à la co d'écoulement arrivant à le rejoindre à l pour le moment dans d'excellentes protection des trois galeries d'exhaure chine additionnée d'une plus faible plan lane, et qui provenait des travaux alon de Marseille, le bassin voit son extract sans à coups, et l'on arrive ainsi à la s période à l'année 1856.

La situation à ce moment était la sin sous le coup de l'expérience l'insuffisar un moment donné, mais pendant les lon la Provence, on portait avec activité l' des galeries d'écoulement ou de roulag sible dans les pendis; tous ces vides fi de vastes réservoirs qu'on abandonnait crues pour remonter l'extraction dans les on faisait plus : on employait sur une tème des *barrages* pour s'affranchir dan sure des venues d'eaux; ce système, qui de spécial aux Bouches-du-Rhône, mé mention, parce qu'il y a été longtemp très généralisé par lequel on parvenai une mesure parfois complète, l'effet de relèvements du plan d'eau. Lorsqu'on des chantiers en arrière des moulrières | saison sèche, mais qui menaçaient d'i moins fissurées et plus rapprochées de à l'époque des pluies, on faisait en a d'ontées un barrage dans la voie de roul que possible dans un travers-banc de fa barrages, munis d'une porte en forte tôl cette porte, le tout s'ouvrant d'aval en

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

érateurs pour l'épuisement du capital d'eau derrière eux.

1856 vit s'implanter dans le bassin des Rhône une société puissante qui, achetant une concession, puis s'en annexant d'autres par la suite, parvint à constituer un centre très important. Ce fut bien pour la mise en valeur des richesses de la vallée de l'Arc. La Société Lhuillier et C^e, Société anonyme des charbonnages des Bouches-du-Rhône, fut le coup de nécessités très graves qui s'imposèrent dès son début, fut obligée de constituer un personnel technique, et d'appliquer les progrès de l'art des mines aux diverses branches de son exploitation. Au prix d'écoles inévitables dans ses débuts, grâce à sa puissance financière, à l'énergie de son personnel, l'artisan principal et le moteur des progrès accomplis dans le bassin des Bouches-du-Rhône depuis vingt cinq ans.

Après dix-huit mois de l'exploitation de ses concessions, la Société Lhuillier avait été frappée de la gravité de la question d'épuisement. La Société Minière de l'Arc était fixée à cet égard. Il se produisit alors entre les anciens exploitants du bassin. L'idée d'une fusion de rabais était déjà dans les esprits; l'administration, aussi accueillit-elle avec empressement le projet de fusion qui malheureusement devint sans suite de défaut d'entente finale. Quoiqu'il en soit, le problème de la grande galerie d'écoulement à solution la plus radicale qu'on envisageait sans appréhension et qui consiste à conduire l'eau à la mer n'avait pas été dès l'abord considérée comme la solution, on parlait déjà de traverser la chaîne de la montagne de tant soit de Roquevaire à la cote 155, soit de Roquevaire à la cote 161. On avait aussi étudié

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTE.

une galerie partant du point le plus bas des terres cédées : le moulin du Pont-de-Bouc à la cote 1. Quelconque de ces trois galeries aurait eu une longueur de 6.000 à 7.000 mètres et eût coûté aux environs de 1.000.000 francs.

L'abandon du projet de fusion entre les deux sociétés relègue au second plan les moyens d'épuisement. Il fallait que la démonstration de 1840 se renouvellât sur une plus vaste échelle.

De cette époque date le placement de la grande Léonie par la Société Lhuillier et C^e, et plus généralement l'inauguration par elle d'une recherche active, de tous moyens mécaniques ou autres propres à lutter efficacement contre les eaux de la discussion de tous ces moyens constituera un chapitre extrêmement intéressant de l'histoire de l'exploitation lignitifère. Le tableau de l'extraction de la société, qui commence en 1856 par 14.000 tonnes et en 1882 atteint 252.000, montre par cet accroissement que la lutte avec les eaux a été en somme couronnée de succès, puisqu'elle a permis ce développement dans la production ; mais peut-on dire que ce succès est complet ? Non certainement : le diagramme de la production montre d'une manière saisissante. Il y a autre question de sécurité n'est pas tout ; il y a aussi l'économie : on conçoit que si déplorable que soit à un moment donné l'obligation de fuir devant le danger, ce pourrait être, en présence d'une dépense trop grande pour supprimer ce danger, la seule et unique solution rationnelle imposée par la situation, et c'est ce qu'il sera facile d'établir plus loin que non seulement techniquement, mais aussi économiquement parlant, on est invinciblement ramené vers la solution logique consistant à profiter du voisinage de la mer pour y dégorger les eaux. C'est cette conviction qui d'abord acceptée par les exploitants du bassin

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

au second plan par suite du défaut d'entente, nous le coup de la nécessité, avec plus de largeur et satisfaction plus complète des conditions auxquelles satisfaire, préoccupe depuis dix ans, pour la faire le directeur si compétent et si expérimenté de la des charbonnages des Bouches-du-Rhône, à qui tout l'honneur de son exécution. Reste à choisir le point de départ et le point d'arrivée du travail.

CHAPITRE III.

ÉTUDE DU TRACÉ DE LA GALERIE.

§ 1.

des couches exploitables. — Détails divers.

Il a été dit que le terrain de lignite s'oriente autour d'un noyau de calcaire secondaire séparant les vallées de l'Ardeche et de l'Huveaune, entre les villes de Trets et de Gréasque. Le point le plus occidental de cette chaîne est situé à l'auberge de *la Pomme*, bâtie à la croisée des routes nationales n^{os} 96 et 8 bis. Les lignes de niveau des couches d'abord est-ouest, passent progressivement au sud-est en allant de Trets à Peynier, Fuyeau et Gréasque; elles prennent même légèrement l'orientation méridienne pour finir vers la direction ouest-est, mais avec le pendage du côté sud. On retrouve les couches exploitables le pendage franchement sud au nord du village de Mimet dans la direction de Mimet vers Simiane, mais on trouve toutefois le méridien de ce dernier village en des réapparitions dont il sera question plus

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

loin. Enfin sur le versant nord de l'ancienne vallée d tout près de l'étang de Berre, dans les territoires de et de Coudoux, l'étage fuvélien avec son facies et siles propres reparait sous les formations supérieures ont empli la vallée. Des concessions autrefois in sur cette partie du bassin et que des tentatives d tation remontant à quelques années ont donné c d'étudier, ont permis d'y faire des constatations santes au point de vue de la continuité, non pas du qui renferme les veines de lignite — cette contin jamais été mise en doute — mais des couches de e elles-mêmes.

Dans le tableau du § 1^{er}, chapitre I, j'ai attri groupe fuvélien une épaisseur de 200 mètres. Il est besoin de dire que c'est là une épaisseur moyen peut osciller entre 220 mètres et 130 mètres si l'on des épaisseurs les plus faibles celles qui sont tou sur les bords du bassin et qui seraient encore au- de 130 mètres. L'épaisseur maxima du terrain se p comme on pouvait le présumer vers le centre du ba donne comme exemple une coupe détaillée qui m avoir été prise aux environs de l'ancien puits du l Bleu et qui réalise à peu près le maximum d'éj constaté. On voit que sans parler de quelques filet fait insignifiants, on peut compter sept couches q dans l'ordre descendant celles que donne le tableau l lequel fournit aussi divers renseignements intères connaître. On doit noter que les chiffres portés à ce ont négligé à dessein les points trop éloignés des d'exploitation connus ou ceux placés tout à fait sur l du bassin où le caractère tout à fait prépondérant de littoraux, sans jeter le moindre doute sur l'assimila couches avec celles qui sont connues dans les régi exploitées, altère plus ou moins profondément leur éj et leurs distances respectives.

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

COUCHES.	DISTANCE VERTICALE entre les couches.		ÉPAISSEUR DE LA PARTIE DES COUCHES			
			Utile.		Stérile.	
	Maxim.	Minim.	Maxim.	Minim.	Maxim.	Minim.
niveau ou de						
.....	95	64	0,35	0,20	0,45	0,30
aux-Pans. . .	III	9	0,32	0,20	0,44	0,35
lau.	38	18	0,30	0,25	0,40	0,30
Gros-Rocher. .	10	7	0,80	0,25	0,85	0,30
Quatre-Pans. .	48	28	0,65	0,32	1,00	0,40
line.	12	7	0,50	0,25	0,50	0,35
se.			2,50	0,60	0,48	0,10

eau montre que la couche inférieure ou Grande-
 toujours exploitable; que les trois qui la sur-
 e sont parfois et cela arrive dans l'ordre de fré-
 descendant suivant : Quatre-Pans, Gros-Rocher et
 Mine. D'une manière générale on peut dire
 épaisseurs des couches de charbon varient dans
 ordre que celle du dépôt entier, ainsi, par
 alors qu'à l'orient du bassin, côté de Trets et de
 la Grande-Mine est assez mince et seule exploi-
 rtir du méridien de Belcodène les trois autres cou-
 ant le groupe des Petites-Mines le sont partout, au
 ne ou l'autre d'entre elles en même temps que
 à l'ouest la puissance de la masse stratifiée qui les
 pendant la loi de variation d'épaisseur des veines
 est moins simple que cela ne paraît au premier
 y a d'abord les variations qu'on peut dire locales,
 se produiront sur l'étendue d'une grande galerie
 ment. Les diagrammes (Pl. IV, *fig.* 2 et 3), dus à
 e, ingénieur de la Société de Charbonnages des
 du-Rhône, ont pour effet de faire bien saisir com-
 s ont lieu sur les deux plus grandes galeries de rou-

lage du bassin, et bien qu'elles soient l'une au-dessus de l'autre et distantes en verticale de moins de 50 mètres, on voit que les courbes, bien qu'affectant dans l'ensemble des allures non contradictoires, ne sont point semblables. De ces variations locales il n'est pas possible ni utile même de chercher une explication détaillée, on peut y voir seulement comme un reflet de la théorie de la formation des combustibles minéraux exposée par M. Grand'Eury comme résumé de ses beaux travaux. Il est certain que ces variations relativement brusques vont bien mieux avec l'idée de ces courants intermittents, de ces ruissellements violents, que la végétation et l'enfouissement progressif sur place. Il y a ensuite les variations régionales, et celles-ci, plus intéressantes que les précédentes peuvent et doivent même se rattacher à l'état de la surface du sol émergé lors du dépôt des couches. On remarque, par exemple dans le bassin de Fuveau, que toute la lisière sud à partir de la concession de Peypin et Saint-Savournin (Nord), région des puits Notre Dame et Saint-Joseph, jusqu'à l'extrémité occidentale du lambeau dit de Gardanne, entre Simiane et Mimet a toujours donné des épaisseurs de charbon beaucoup plus favorables que le centre du bassin; là toutes les couches, y compris la Mauvaise-Mine, sont exploitables sauf en de rares passages. On peut y voir, dans la théorie du savant que je viens de citer, la preuve d'une plus grande abondance dans la végétation qui préparait, tout le long de la chaîne de l'Étoile, les matériaux pour la sédimentation carbonifère dont nous exploitons aujourd'hui les produits.

Je donne diverses coupes détaillées des trois couches les plus exploitées du bassin afin qu'on puisse se rendre compte de l'amplitude qu'affectent ces variations régionales (Pl. IV, *fig.* 1, 4 à 10 et Pl. V, *fig.* 1 à 12). Toutes ont été prises dans des chantiers en exploitation, et il faut noter qu'il y a toujours au-dessous des couches ainsi représentées divers filets généralement inexploitable, entremêlés qu'ils

ASSIN DE FUYEAU

enlever à cause de leur mal-
croûtes ou restoubles.

Paragraphe j'ai dit que, au sein
sur le versant de La Fare, les
encore s'assimiler à celles de
l'île de l'exposé suivant.

à La Fare a donné la coupe
es fig. 5 à 8 donnent le détail
aversés. Il est impossible de
es P, Q, R et S la succes-
à la Grande-Mine.

877, dans des vieux travaux
la succession représentée par
10 à 12. Or il est également
être vue, pour ainsi dire, les
si l'on peut s'étonner d'une
affirmer d'une façon aussi
e qu'il n'y a pas moins de
entre le point le plus rap-
et La Fare.

INCESSION : COUDOUX.	OBSERVATIONS.
D E (?) B	Les filets C représentent ou la mine de l'Eau en les filets placés partout entre elle et Gros-Rocher.

paraît avoir une importance
suivant moi, la continuité des
oute l'étendue du bassin de
exploitants, en quelque point
idra de foncer un puits d'ex-
contrer non pas seulement le
res exploitables. La puissance
donc pour limite que la pro-

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y E.

L'importance de cette déduction m'a permis un développement que j'ai cru devoir donner un peu en dehors de l'objet essentiel de ce travail.

Reprenons maintenant l'examen de l'accident dans la partie exploitée du bassin.

C'est dans la région sud de cette partie que se trouvent les deux grandes failles F et F' seulement (§ 2 du chapitre I^{er}), et sur lesquelles je reviens. La faille de Garoute ou de Doria (F), qui est dite de Garoute (Pl. I), suit le chemin communal de Valdonne et va finir au promontoir après avoir passé auprès du pont qui précède la gare, met l'affleurement de la grande faille en contact avec les argiles voisines des grès et accuse ainsi une dénivellation de 350 mètres verticale. Tout ce qui est à l'est de cette faille est le quartier de la Baume-des-Marrons.

La faille F' termine à son tour ce quartier en déplaçant encore les couches dans le bassin de Bouilladisse de 200 mètres environ, amenant dans la région de la concession d'Auriol où elle est découverte par le puits du Soleil, et où elle vient se terminer au hameau des Boyers. Enfin, une troisième faille (F''), plus importante encore que les deux autres et beaucoup moins simple dans ses détails, est un trait tout à fait essentiel du bassin, c'est l'accident de Diète, du nom du hameau près duquel elle se trouve pour s'étendre vers l'ouest jusqu'au delà de Gardanne; elle relève les couches inférieures de manière que tout l'étage jurassien (Grand Jurassien), réapparaît au sud de l'accident, à des profondeurs considérables. L'angle du grand accident est E. 12° à 13° S. à O. L'amplitude varie de 600 à 700 mètres de l'ouest à l'est selon les points où on le considère (65

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FURVEAU

Bonscarle, 720 mètres au nord du puits dit dans le vallon de Péchiers, 590 mètres au Fourneau) Un des points où l'on peut le r cette énorme dénivellation est au sud de extrémité de la colline dite des Angles, c'est-rolongement manifeste de la barre calcaire meuf-le-Rouge, renferme quelques petites peut reconnaître même au défaut de la col-le village même de Gardanne. Là se trouve lin à vent On est en face, en se tournant e la grande faille de la Diote; elle porte le tique local de l'Avalanche; de l'autre côté n trouve les affleurements de la Barre-Jaune, nineurs. Il y a 700 mètres de distance verti-deux niveaux qui se trouvent là en apposi-

noter que cette faille de la Diote ne se pro-ucoup plus loin que le hameau dont elle a între ce dernier et le chemin qui conduit à finit tout à coup; ni l'affleurement de la es de la Bégude qui passe à la campagne des lus forte raison les travaux intérieurs dans puits Bonaventure n'en offrent la moindre mouvement énorme de bas en haut qui, au eau, est de 600 mètres environ verticale-ent de l'ouest sur une longueur de 10 kilo-s (pont de Bouc), s'arrête presque brusque-eut avoir lieu, et n'a lieu, en effet, que par sure dans un sens tout différent qui part du eau et que les anciens travaux de cette ré-ement mise en lumière. Elle passe au moins station principale par où près les maisons ec une direction N.-O. à S.-E., et va se rat-nds escarpements calcaires secondaires an-ssent derrière le village de Saint-Savournin.

En réalité, cette fin presque brusque et non en boutonnière de la faille de la Diote n'est pas due à la cassure unique de Rey et Leou ; il y a eu étoilement et c'est ainsi que, partant d'un point unique situé à 300 mètres du puits du Fourneau, vers le nord, on voit dans l'angle existant entre la branche précitée et le prolongement de la grande faille, vers la Diote, une série de coupures divergentes aussi évidentes que difficiles à bien relever à cause de leur multiplicité, et surtout au sommet de l'angle. Mentionnons parmi les faits les plus frappants qui se présentent dans cet angle d'étoilement l'affleurement de la Barre-Jaune, dans la petite plaine au sud du hameau de la Diote, venant en apposition avec l'affleurement de la couche dite mine de Bidaou, située, comme on l'a déjà dit, au-dessus des barres des meules de la Bégude. Les positions dans la série de ces deux horizons étant parfaitement connues, on peut estimer, au droit de la Diote, l'amplitude de l'accident à 300 mètres, et ce avec la rigueur que comporte des considérations de cette espèce.

Les trois grandes failles dont je viens de parler divisent donc en quatre grands lambeaux d'importance très inégale, mais toujours notable, toujours exploitable, le bassin de Fuveau.

Mais ce ne sont pas les seules qui aient fait réapparaître la Grande-Mine et ses couches subordonnées par des dénivellations tout à fait comparables à celles dont je viens de parler, et cela dans l'étendue des territoires concédés. Bien que l'une d'elles n'ait certainement aucune importance industrielle et que l'autre n'en puisse avoir qu'une au plus médiocre, il n'est pas indifférent de parler d'autres failles complétant une connaissance plus détaillée du bassin. Le premier accident en question se voit au sommet du ravin dit de Cauvet, qui passe non loin des maisons dites Jean-Claude et les Moulières dans la partie comprise entre la route de Simiane à Mimet et le chemin qui lui est parallèle et qui

court à 250 mètres du premier pour se rendre également à Minnet. Si l'on mène une coupe verticale dirigée nord-sud, on obtient la *fig. 2*, Pl. II, dont la *fig. 3* donne le détail dans la partie la plus intéressante. La partie comprise entre les deux chemins est, à n'en pas douter, l'étage furvélien (Grande-Mine et ses congénères) avec tous ses fossiles et même la possibilité d'assimiler terme à terme les affleurements qu'ils y voient aux couches connues dans le centre du bassin. C'est ainsi qu'on reconnaît successivement : la Ravette-du-Diable, à 5 mètres au-dessous de la Grande-Mine avec son clovisseux, la Mauvaise-Mine, les Trois-Ravettes, puis le banc de calcaire à ciment, et enfin un ensemble de filets charbonneux représentant évidemment Quatre-Pans. A mesure qu'on remonte vers le sud le pendage augmente : de 30 p. 100 à la mine du Diable, il est de 1/1 à la Mauvaise-Mine, et à Quatre-Pans de 60° environ. A quelques mètres plus haut que le lavis de filets charbonneux qui représente Quatre-Pans, les couches se rapprochent encore de la verticale, et en atteignant le chemin supérieur on est en pleine faille, présentant des débris plus ou moins désagrégés. En poursuivant la coupe vers le sud, on traverse le chemin et l'on tombe sur le Valdonnien (*Melanopsis gallo-provincialis* à profusion), puis au pied même de l'escarpement calcaire secondaire, un ancien petit puits se rencontre où la présence de rognons de fer carbonaté et d'indices de charbon (couche du plan d'Aups) révèlent le Santonien. Plus au sud, on ne tarde pas à rencontrer, au Pas-de-Portes, les bancs à *Hippurites organisans*, qui paraissent reposer sur les couches du plan d'Aups. On a ici un exemple de ces retroussements dont j'ai parlé plus haut, comme régnant tout le long du bord sud du bassin entre Minnet et les Pennes. Cette faille peut s'appeler faille de Gilly, du nom de la maison de campagne voisine du point où je viens de l'indiquer.

Reprenons maintenant la coupe au bas de l'étage furvélien.

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

lien. Le filet dit Ravette-du-Diable a son affleurement tigu à un affleurement bien reconnaissable de faille plusieurs mètres d'épaisseur et qui court parallèle la route; lorsqu'on traverse cette faille, que j'appelle du Safre, du nom du quartier, on marche sur l giles de couleur foncée qu'on reconnaît immédiat comme celles qui surmontent la mine de Bidaou p où cette couche affleure dans le bassin; et, en après avoir marché vers le nord sur 110 mètres en traversé la route de Simiane à Mimet, on aboutit à une cascade où les pisolithes à profusion ne laissent a incertitude sur le niveau abordé. La couche de Bida été exploitée tout près de là pour lever les doutes pouvait rester. Les deux failles paraissent parallèles elles, à la chaîne de l'Étoile et à la faille de la Dio première, celle de Gilly, qui met les bancs supéri Quatre-Pans en contact avec le Valdonnien, corresp un relèvement vers le sud de 60 à 80 mètres au l l'incertitude étant due à l'épaisseur du Valdonnien e plitude étant considérée comme minima en raison de naison des couches qui obligerait à introduire un cosi dénominateur. La seconde faille, celle du Safre, qui au sud de la route de Mimet à Simiane, correspond relèvement vers le sud, qu'on peut également cher apprécier. Il y a dans le centre du bassin, depuis l de pisolithes qui surmonte la mine de Bidaou jusqu'à tite Ravette-du-Diable, 600 mètres d'épaisseur de co D'un autre côté, l'amplitude verticale du mouvem égale à l'épaisseur des couches divisées par le cosi l'inclinaison, quand la direction de la faille est para la direction des bancs, ce qui est ici sensiblement l enfin le banc des pisolithes affleure au-dessous de la et il y a entre lui et l'affleurement de la Ravette-du- une épaisseur de plusieurs mètres d'argile. Pour tou raisons, le chiffre de 600 mètres comme amplitude

cale devrait être considéré comme faible s'il n'intervenait pas une autre cause de réduction, c'est le fait que sur le bord du bassin l'épaisseur a dû diminuer. Diverses considérations, l'inclinaison moyenne des bancs sur le parcours complet de la coupe entre autres, me portent à admettre comme amplitude verticale 300 à 350 mètres au moins.

Si, à partir de la mine de Kidaou, on continue encore la coupe au nord, on voit se succéder dans l'ordre normal descendant tous les bancs de la formation, jusque et y compris la Grande-Mine dont l'affleurement vient butter contre la faille de la Diote à quelques mètres de l'ancienne forge Mallet, puis on rencontre enfin cette dernière faille qui, dans cette partie, dénivelle les couches de 720 mètres en verticale.

Bien que ce travail n'ait pas l'ambition de soulever et encore moins de résoudre des questions de géologie théorique, je me permettrai ici une courte digression : on ne peut s'empêcher de remarquer que nous sommes en présence, dans un espace de moins de 1.500 mètres de largeur, de trois dénivellations d'une amplitude totale de 1.100 à 1.200 mètres environ. Je ne crois pas que l'on puisse contester qu'elles aient été produites par le mouvement de la montagne de l'Étoile à la direction de laquelle sont parallèles les plans de fracture suivant lesquels les divers lambeaux ont joué. Or, cette montagne, qui existait déjà pendant que se déposaient sur des plans certainement horizontaux, sauf sur leurs extrêmes bords, les diverses couches du bassin, cette montagne, dis-je, a aujourd'hui sa crête à 300 ou 350 mètres au plus au-dessus des régions voisines du bassin où nous constatons ces puissantes dénivellations, et la hauteur moyenne au-dessus du niveau de la mer n'y atteint pas le double, soit 700 mètres. Si donc les coins poussés en l'air étaient restés dans la position qu'ils affectaient, ils auraient dépassé de plusieurs centaines de mètres la chaîne de l'Étoile. Qu'on se représente le long

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

de la faille de la Diote, ce coin de plusieurs kilomètres longueur poussé au vide avec une épaisseur de 1.2 à 1.300 mètres dans le sens nord-sud, à 600 ou 700 m au-dessus du sol où s'élève aujourd'hui Gardanne. Qu'est resté de ce prisme immense? Absolument rien. Et quelle puissance d'érosion ou, à son défaut, quelle autre action physique gigantesque a-t-il fallu pour niveler cette masse en n'y laissant que les hauteurs plus ou moins insignifiantes qu'on y rencontre? Remarquons, comme sur ces considérations, que les travaux du quartier Saint-Pont ont montré la faille de la Diote très plate, son angle avec l'horizontale n'est que de 27° à 30° , au moins dans la région considérée. Ainsi le coin poussé au vide avait sa paroi nord surplombante, et il n'est pas étonnant dès que les matériaux en aient été désagrégés et n'aient jamais été portés à la hauteur correspondante à la cote de niveau des deux lambeaux d'une même coupe après la cassure. Il semble que ces matériaux, ne pouvant rester ainsi en encorbellement, devaient s'étaler à mesure qu'ils sortaient, sous l'action de la poussée interne au pied de la lèvres nord de la cassure, sous la forme d'une longue colline de débris parallèle à la faille et la longeant. Si cela a été ainsi, il n'en reste à coup sûr plus trace, plus, à ma connaissance, que des agents d'entraînement auraient rasé la plaine. Je sou mets cette difficulté à l'auteur, et je termine cette digression en faisant remarquer que le pendage de la faille de la Diote étant vers le sud est probable que celui des deux autres failles parallèles contemporaines, celles du Safré et de Gilly, est dans le même sens, qu'ainsi on a la reproduction en grand échelle figure par laquelle M. Daubrée a représenté le résultat obtenu par lui dans ses expériences sur la formation des lambeaux par voie de pression latérale (Voy. *Études synthétiques*, p. 322, fig. 98). L'analogie est complète en ce que dans la nature, comme dans la figure, on remarque

l'exception à la règle de Schmidt relativement au sens du mouvement relatif des fragments contigus.

On peut retrouver le niveau de la Grande-Mine en se transportant à 500 mètres à l'ouest du hameau des Cayols (commune de Bouc), sur la route départementale de Trets à la Malle. En ce point la route longe une colline de 1 kilomètre de longueur, dans lequel on reconnaît l'étage fuvélien parfaitement caractérisé; des profusions de cyrènes striées, des restes abondants de tortues, des affleurements de lignite, des anciens travaux visibles à la surface auprès de puits en ruine ne laissent aucun doute à cet égard. On peut suivre ces indices jusque passé la gare de Bouc-la Malle, et il y a tout lieu de penser qu'ils traversent la route nationale n° 8 et se dirigent plus ou moins loin vers le hameau du Plas-de-Campagne et la commune des Pennes. Les concessions finissent à la route. Pour se rendre compte de la manière dont se fait cette réapparition, on doit diriger une coupe perpendiculaire à la route départementale, soit nord-sud à peu près, partant de derrière le hameau des Chabauds (Voy. Pl. II, *fig.* 4 et 5). À une surface verticale terminant en abrupt des poudingues calcaires contemporains de ceux du Cengle, succèdent des argiles parmi lesquelles on rencontre une barre de grès s'étendant des Chabauds à la maison Fouque et qui a la plus grande analogie avec l'une des barres des meules de la Bégude. Cette barre a l'inclinaison de 70° vers le sud. En se dirigeant alors sur la maison dite Coriolis, on traverse des bancs argileux qui, à mesure qu'on arrive au sommet de la colline, s'entremêlent de bancs de poudingues stratifiés et redressés verticalement. Aucun fossile ne se trouve dans ces argiles; puis à quelques mètres avant d'atteindre la maison précitée, on se trouve tout à coup en plein terrain fuvélien, stratifié comme les poudingues, c'est-à-dire verticalement ou à peu de chose près. On traverse la route départementale, le pont du chemin de fer, où l'on a, à ses pieds dans la tranchée de la voie

ferrée, les bancs les plus caractéristiques de l'étage fuvélien. A 30 ou 40 mètres après le pont, les champs à droite et à gauche du petit chemin que suit la coupe, offrent en abondance les *Melanopsis gallo-provincialis* caractéristiques du Valdonnien, et si l'on continue à cheminer vers le sud, on atteint successivement le Cénomaniens, au droit de la maison dite Perroquet, puis l'Aptien caractérisé par ses petites belemnites, et enfin l'ossature de la chaîne qui me paraît, en cette partie du moins, être formée du corallien, représenté par un calcaire blanc cristallin à cassure conchoïde. L'interprétation de la partie nord de cette coupe présente de réelles difficultés. Partons de la partie sud : le renversement de l'Aptien sur le Cénomaniens, de celui-ci sur le Santonien (le Turonien avec les Hippurites manque en ce point), du Santonien sur le Valdonnien, du Valdonnien enfin sur le Fuvélien, n'ont rien que de concordant avec ce que nous avons vu ailleurs, notamment à la coupe de Gilly ; l'ordre inverse se maintient dans les divers affleurements visibles de charbon ; c'est ainsi qu'un vieux puits ayant exploité une mine que les anciens du quartier déclarent avoir été la plus épaisse — évidemment la Grande-Mine — est sur l'affleurement le plus au sud et que les autres passent par-dessous, contrairement à l'ordre normal. Tout cela se rattache au mouvement de poussée horizontale venant du sud déjà pris sur le fait à la coupe de Gilly ; mais ce qui s'explique moins bien, c'est le fait de voir pour ainsi dire accolée la formation de la Grande-Mine avec les poudingues verticaux et les argiles qu'ils renferment, sans qu'entre les deux groupes on puisse reconnaître, même en suivant leur limite commune avec le plus d'attention possible, la marque bien nette d'une faille. Et cependant ces poudingues paraissent bien être les mêmes que ceux qu'on voit en couches régulièrement ordonnées, soit à l'ouest de la route nationale, soit à la Petite-Bastide, c'est-à-dire les poudingues des couches du Cangle, lesquels reposant sur les

couches d'argiles rouges de Châteauneuf ne peuvent donner lieu à aucune méprise. Le plan de la faille qui sépare les poudingues des couches à cyrènes ne se distingue-t-il pas nettement à cause de son parallélisme avec les poudingues verticaux ? Ou bien faut-il concevoir que les poudingues s'étant déposés à l'origine transgressivement sur les bords des couches fuvéliennes, mais en stratification *quasi* concordantes, et tout ayant été verticalement redressé par la poussée latérale, il n'y ait réellement pas de faille, mais simplement succession locale du Cengle aux couches à cyrènes ? L'existence de la faille me semble encore plus acceptable, mais fort heureusement et quoiqu'il en soit, les conséquences pratiques au point de vue de la mise en valeur du bassin sont à peu près indifférentes à l'une ou à l'autre hypothèse.

Des travaux d'étude et d'exploration ont été entrepris sur ce lambeau à lignite de 1871 à 1874 ; sans entrer dans aucun détail et le plan des travaux sous les yeux, on peut dire qu'ils n'ont pas été couronnés de succès. Bien que poussés à une profondeur de 45 à 50 mètres, conduits en direction sur une longueur de 90 mètres dans la couche qui paraissait la plus favorable et additionnés d'un travers-banc de 120 mètres de longueur, ils n'ont rien trouvé de bon ni comme charbon, ni comme condition d'exploitation. Ce résultat fâcheux ne doit pas cependant, à mon avis, être considéré comme démontrant radicalement l'inexploitabilité du lambeau de la Malle. On peut remarquer que les travaux ont été placés près de l'extrémité orientale de la réapparition des couches ; il semble que plus à l'ouest, vers l'ancien puits de Coriolis, par exemple, ou bien au droit de la gare du chemin de fer, on aurait pu rencontrer plus de régularité dans la formation. Mais quoi qu'il en soit de ce point, il reste établi et démontré que, à 250 ou 300 mètres au moins à l'ouest du vieux puits qui marque la fin vers l'est de la réapparition de l'étage fuvélien et à

ET SUR UN GRAND TRAI

50 mètres en profondeur, le la
ploitable.

Je termine ici ce qu'il était
dans la disposition des grande
veau pour déterminer rationne
exutoire projeté. Cette déterm
du présent travail.

§ 2. — *Déterminu*

Il s'agit d'aller à la mer.

Si l'on jette un coup d'œil su
le point le plus rapproché de l
envisagé au point de vue des c
territoires concédés, c'est-à-dir
n° 8 jusqu'aux exploitations du
sin, est l'extrémité du lambeau
de la faille de la Diote, où les a
de petits puits inclinés et où a
Saint-Pierre. Le point du rivi
plus voisin est le fond du goll
gion qui s'étend depuis la poi
l'embouchure du ruisseau dit
que, sauf quelques flottements
peuvent imposer aux points de
la ligne de plus courte distanc
tracé. Toutefois, quand on la
sente avec moins de simplicité.

La première pensée qu'on a
sinage du lambeau de la Malle
parfaitement exploitable pour
la mer. On remarque, en effe
la colline de Coriolis sont à 9
du golfe de Marseille, dans la

nul doute, quelque espérance qu'on pouvait concevoir sur la richesse de cette partie, on n'avait point l'idée qu'elle pût servir pour motiver un si grand travail que celui qu'on envisageait ; mais ici intervenait une autre considération : une fois arrivé dans la région de Coriolis, une fois dans la couche exploitable, ne pouvait-on pas longer la colline de l'Étoile et arriver ainsi, en restant toujours dans la couche, au sud du point où se termine le lambeau de Gardanne à l'ouest. En ce point, un travers-bancs de 1^k à 1^k 1/2 avait raison des terrains de recouvrement et l'on rentrait ainsi, après 10^k à 11^k 1/2 au plus de stérile, dans la région de Saint-Pierre, au lieu des 14 ou 15 kilomètres que comporte la ligne droite. De plus, on avait eu le temps, avant d'y parvenir, d'amortir en partie le coût de la galerie par l'exploitation de 5 à 6 kilomètres. En un mot, rien n'était plus séduisant.

La réalisation de ce programme dépendait de deux faits : 1° la présence et l'exploitabilité des couches au niveau de la mer ou, pour dire mieux, un peu au-dessus du niveau de la mer dans la partie où elles sont connues comme affleurement dans la colline de Coriolis ; et 2° leur continuation sans interruption importante le long de la chaîne de l'Étoile jusqu'au sud du quartier Saint-Pierre, c'est-à-dire sur 6 kilomètres de longueur environ.

Le premier fait a été résolu négativement par les recherches effectuées de 1871 à 1874 ; on a vu plus haut que leurs résultats avaient été très peu encourageants au niveau de 45 à 50 mètres au-dessous du sol. L'eussent-elles été à 100 ou 150 mètres plus bas ? Cela paraît fort peu vraisemblable. Les travaux ont appris entre autres choses que les bancs de charbon, au lieu de prononcer en descendant le mouvement de plissement qu'on peut leur supposer en devenant d'abord tout à fait verticaux pour reprendre ensuite un pendage vers le nord, tendraient plutôt à s'éloigner de la verticale en conservant leur inclinaison au

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

sud, mais en s'applatissant au lieu de se redresser ainsi que de 85° avec l'horizontale au jour, l'inclinaison n'est plus que 72° à 45 mètres de profondeur et vers le sud. Cela fait supposer qu'à la profondeur de 190 à 200 mètres au-dessous du niveau du sol, ou 30 mètres au-dessus du niveau de la mer, si la galerie de la mer viendrait rencontrer le prolongement hypothétique de ces bancs, ou ils n'existeront ils seront morcelés, étirés, encore plus inexploitable près du jour, accolés au terrain soulevant.

Toutefois, admettons-les au contraire exploitables, le second point nécessaire reste à résoudre. Que faut-il faire de leur continuation le long de la chaîne de Coriolis? Les terrains cultivés qui s'étendent à partir de la colline de Coriolis du côté de l'Est, sont-ils féconds ou stériles? Ce point a toujours vivement préoccupé, et la réponse à cette question est difficile à donner d'une manière absolument péremptoire sans travaux de terrain, car le terrain cultivé s'oppose à toute investigation de surface presque partout; néanmoins un point médiaire peut fournir à cet égard un enseignement précieux. A mi-chemin, entre la fin de la colline de Coriolis et le village de Simiane, se trouve une colline allongée du nord à l'est sur la rive droite du ravin de Siège. La coupe du sud de cette colline donne la *fig. 6* de la Pl. II, qui montre les couches de pisolithes calcaires, cortège de la colline de Bidaou accolées au sud de la butte aux couches à cyprins fuvélien. Aux couches fuvéliennes succèdent les valdonniennes à mélanopsis comme à la coupe de la colline de puis l'étage du plan d'Aups décélé par les fossiles turoniens (turritelles en abondance) et par les rognons lithoïdes; les hippurites turoniennes ne s'y voient pas; celles-ci ne paraissent pas dépasser Simiane où elles rencontrent au midi de l'église; mais au sud de la colline de santoniennes, on retrouve, comme à Perroquet, le

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FOVEAU

uis l'aptien, toujours renversés et paraissant s'en-
sous le corallien de la cascade de Siège.

Et de là que le fuvélien passe bien encore en ce point,
serré entre la faille au sud de la butte et la réap-
de l'étage à Mélanopsis. En mesurant très exacte-
distance entre les dernières couches pisolithiques

qui ne sont certainement pas la fin du groupe
point et l'apparition des mélanopsis qu'on ren-
en abondance dans les terres cultivées, on trouve
es. Ainsi, c'est dans cet espace de 90 mètres que,
avait pas faille en ce point, devrait se loger toute
eur qui sépare le valdonnien des bancs à pisolithes,
0 mètres environ. Il y a donc eu là indubitablement
vement qui a porté le valdonnien à 600 mètres au-
de sa position primitive. Où trouver là le passage
ches exploitables? Impossibilité absolue. En remar-
que la couleur de la terre végétale de grisâtre et
evient brusquement rougeâtre et foncée à 45 mètres
de la butte, on peut fixer sans grande indécision
age de la faille qui accole les argiles des deux
1. C'est ce qu'on peut appeler la faille de Siège.

ernier mot : transportons-nous plus à l'est encore,
nage de la maison Léon Raphaël. En remontant le
u Grand-Babot, à son voisinage, on arrive à une ap-
de la couche du plan d'Aups bien reconnaissable;
onge au sud selon la règle générale; si, partant
on marche vers le nord, quelque temps qu'on y
e et maintes fois je l'ai tenté, il est impossible de
ltre entre ce point et la route de Mimet à Simiane,
est en plein dans les argiles et calcaires bégudiens,
age des cyrènes striées ou des mélanopsis. Les ar-
égudiennes sont là, selon toute probabilité, accolées
ge du plan d'Aups, ce qui suppose une amplitude
t plus colossale encore que celles précédemment in-
1.

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTER.

Concluons donc sans plus nous étendre, qu'en comptant sur les deux conditions exigibles pour adopter le tracé direct par la Malle, savoir la continuité et l'exploitabilité de la bande de Grande Mine tout le long de la chaîne de l'Élé à la profondeur de la future galerie, on se préparera à plus graves mécomptes. Observons d'ailleurs que rien n'empêchera, quand on aura atteint la Grande-Mine par le tracé direct, de diriger à l'ouest tout aussi bien qu'à l'est des galeries d'exploitation. L'idée du tracé brisé par la Malle a donc été définitivement abandonnée et l'on en est revenu au tracé de la plus courte distance en ligne droite entre le littoral et l'extrémité occidentale connue du lambeau Gardanne. La galerie se dirigera, à très peu près, sur l'orifice de l'ancienne galerie Mallet; elle atteindra la Grande Mine à la cote 57, si on lui donne 3 millimètres de pente; elle se développera alors sur 3.500 mètres de longueur avant d'arriver dans la région du puits du Fourneau, elle atteindra le lambeau principal, après un nouveau travers-banc de 2.000 mètres environ, à 500 mètres au sud de Gréasque. A ce point elle pourra, se retournant à angle droit, aller drainer toute la Grande-Mine jusqu'à Trets, l'extrémité orientale du bassin, qu'elle atteindra après un parcours total de 37 kilomètres depuis son orifice, parcours qui pourra porter à 40 kilomètres en comptant la branche qu'on détachera nécessairement pour venir à l'aval du puits de Léonie. La quantité de charbon qu'elle permettra d'extraire sans épuisement sera de 25 millions de tonnes environ.

La pente de 3 millimètres qu'on a supposée est bien inférieure, comme on le sait, aux déclivités qu'on s'accoutume à donner aux galeries d'écoulement. Si l'on donne la pente de 1/2 à 1 millimètre, bien suffisante pour écouler des masses d'eau considérables surtout dans des parois rocheuses, la quantité de tonnes asséchées naturellement trouve monter à 40.000.000 environ.

Le point de départ, avons nous dit, doit être que

part dans la région qui s'étend de Mourepiane ou même de Saint-Henri jusqu'au ruisseau de Mirabeau, ou même plus près de Marseille. Il faudrait recourir à des considérations d'ordre divers et probablement secondaire pour fixer le point précis de départ, s'il n'intervenait pas maintenant une considération d'une importance capitale qui resserre immédiatement le champ des recherches et impose la sortie la plus voisine possible de la ville de Marseille.

C'est qu'en effet, dans tout ce qui a été dit jusqu'à présent, on n'a jamais considéré la galerie à la mer qu'à un seul point de vue, celui qui a présidé à sa conception : l'exhaustion du bassin.

Mais si ce point de vue est primordial et essentiel, il est certainement incomplet.

On ne voit pas ce qui empêcherait de profiter de cette percée faisant communiquer le rivage marseillais avec les chantiers d'abatage pour la sortie de tous les produits devant se rendre à Marseille pour l'industrie locale ou l'exportation. Aujourd'hui le charbon arrive aux gares d'expédition (Gardanne, Valdonne, Trets) en le remontant par des puits de 200 mètres de profondeur moyenne, après l'avoir roulé en des galeries de plusieurs kilomètres de longueur. Il y a ensuite de 25 à 45 kilomètres à parcourir pour arriver par chemin de fer aux gares de Marseille. Il y a là des dépenses dont il n'est pas nécessaire de donner ici le coût et le détail, mais dont on conçoit l'importance. Pourquoi ne profiterait-on pas de la galerie de la mer pour supprimer ce long et coûteux circuit, et qui empêcherait de réaliser dans les Bouches-du-Rhône sur 20 ou 30 kilomètres ce que le Gard donne en exemple depuis cinq années aux mines de Cessous sur 5 $\frac{1}{2}$ kilomètres ? Les avantages économiques qu'on a pu réaliser à Cessous sont à coup sûr minimes en comparaison de ceux que la substitution en question procurerait aux charbons du bassin lignitifère, et si l'on remarque que ces derniers, de valeur intrinsèque

ET SUR UN GRAND TRAVAIL A Y EXÉCUTÉ

moins grande, commandent en quelque sorte la économie dans leurs moyens de production pas là comme un faisceau d'arguments pour la extraction comme à l'écoulement le grand l'exécution ne saurait être plus longtemps titre de simple aperçu quelques chiffres peu sensibles les avantages dont nous parlons.

Une tonne de charbon destinée à l'exportation du centre du bassin, par exemple, du puits Cagrevée de 0^f,35 à 0^f,40 de montage, 3^f,30 à jusqu'à Marseille-Joliette, 0^f,80 de traction de l Joliette au môle de l'Abattoir, soit un total de 4 mettons, au contraire, qu'elle sorte par la galerie En acceptant comme frais de transport par le résultat des chiffres de Cessous publiés par (*Bulletin de la Société de l'industrie minière*, 1881), on voit que la tonne arriverait à la 1 de 1^f,085. On doit y ajouter l'amortissement travail qui, si l'on veut compter très largement à éviter tout mécompte, peut être évalué à lions, et dont l'amortissement devra être ajouté de 1^f,085 cité plus haut. Faisons-le porter sur 1 de 300.000 tonnes seulement sortant annuellement galerie, et supposons qu'on veuille amortir en 1 On trouve pour amortissement 1^f,58 par tonne ajouté à 1^f,085 et comparé à 3^f,85, laisse déjà marge de bénéfice. On peut donc dire qu'on aura galerie en ce laps de temps sans compter, bien l'économie faite sur les épuisements qui, en l s'élever jusqu'à 1^f,30 par tonne, et qui ne peut d'aller sans cesse en croissant.

(*) En réalité, depuis avril, il est un peu moindre par légère réduction sur le transport de Valdonne à Mar qui ramène de 4^f,50 à 3^f,85 le prix total.

ÉTUDES SUR LE BASSIN DE FUYEAU

changement qu'apportent l'exécution des traversions ultérieures des tarifs, il ne semble pas que le sens dans lequel la comparaison des entre l'économie puisse être renversé, et la conclusion est en droit d'en tirer, c'est que, commandée par la plus absolue au point de vue de l'assèchement, la galerie s'impose indépendamment comme exploitation, à la condition qu'on la dirige et qu'on en raison du double but à remplir.

Le but exige pour le sortage intensif une pente de 10 mètres environ ; pour l'écoulement, une déclivité de 1 millimètre suffit. *Il faut donc en réalité deux* (la seconde sera faite quand la première, une fois faite à forte pente), on pourra l'attaquer par des points autant de points que l'on voudra, pour ainsi dire la véritable galerie d'écoulement ; elle ne sera autre chose, sur une échelle grandiose, que l'exploitation actuelle de Fuyeau on appelle *le*

est reconnu que, logiquement, la percée de la galerie doit être à la fois utilisée pour le sortage du charbon et pour l'écoulement, il n'y a plus à chercher ailleurs que de la faire aboutir sur le rivage : c'est nécessairement le plus près possible des ports de Marseille. Ainsi que, par une suite de déductions paraissant évidentes, s'est imposé l'emplacement actuellement

aussi ce qui permet d'examiner rapidement maintenant une autre solution, qui a été mise en avant il y a quelques années, et qui se présentait avec certains côtés séduisants, à vrai dire, la reprise de l'idée du tracé actuel, mais appliquée à un autre point du rivage.

La galerie de Fuyeau ne se termine pas à la route d'Aix, mais dans la vallée des Pennes et jusqu'au bord de la mer, à Olmon et de l'étang de Berre, on voit les couches

supérieures des groupes de Rognac et de Vitler sur de grandes étendues. On s'est demar tant soit d'un point quelconque de ces éta zéro, soit d'un point un peu plus avant da mais à une cote encore assez basse, on ne p l'aide d'un court travers-banc dirigé du ne joindre le long de la chaîne de l'Étoile, et p sans avoir à traverser celle-ci, les coucl dans les concessions aujourd'hui en activité tème, dit-on, peu de travers-bancs, poss quer la galerie en nombre de puits dont moyenne serait médiocre et qui sans doute n' de très grandes difficultés d'épuisement.

On a vu que dans le système exposé dans l travail, tout se tient dans les deux buts qu grand ouvrage à réaliser. Mais laissons poi ce point de vue de côté. Ne tenons pas com gueur de 22 kilomètres de ligne droite qui s le plus rapproché de l'étang de Bolmon de l cidentale connue de la Grande-Mine au q Pierre; de la hauteur nécessairement perdu nellement à cette distance; du travers-banc d au moins qu'il faudrait faire à l'extrémité vrage; admettons que les puits à faire sur to puissent se faire économiquement, sans ép coûteux, — et si l'on se reporte à ce que j'ai du coût de la galerie du Rocher-Bleu, on i que c'est là une concession bien grave faite cation de la discussion, surtout si l'on obs puits auraient une profondeur moyenne 100 mètres, — encore faut-il que les couche existent à la profondeur convenable sur tou toute la lisière de la chaîne de l'Étoile.

Or, c'est justement cela qui est absolument disons mieux, qui n'existe pas. Ce qui a p

SUR LE BASSIN DE FUYEAU.

ches de Grande-Mine et autres, c'est
affleurements en divers points de la
et de Marignane; mais l'on a vu plus
moins quatre niveaux de lignite dans le

Le régime de morcellement que j'ai
a partie étudiée en détail du versant de
vers les Pennes, et il y a aussi peu de
er les couches exploitables à la profon-
nt ainsi qu'à l'est de la route de Marseille
lleurs une preuve palpable et, suivant

le souterrain de la Nerthe a percé la
26; on y voit à la tranchée de Rebuty
ches aptiennes parfaitement caractéri-
des poudingues qui d'abord, presque
en adoucissant peu à peu leur pente,
ids escarpements de Pas-des-Lanciers;
gnac, et c'est par là que débute la for-
ans l'axe du tunnel. Tout ce qui est au-
tre du bassin manque ici.

n leurre d'espérer cheminer dans les
par le tracé que j'examine en ce mo-

cessité couper la chaîne et amener dans
larseille les charbons que recèle l'im-
'avoisine et les quantités d'eaux formi-
isqu'ici gravé le prix de revient et plus
'exploitation.

COMMISSION D'ÉTUDE
DES MOYENS PROPRES A PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DE GRISOU
DANS LES HOUILLÈRES

ANALYSE SYNOPTIQUE
DES RAPPORTS OFFICIELS
SUR LES

ACCIDENTS DE GRISOU EN FRANCE

DE 1817 A 1881,

DRESSÉE AU NOM DE LA COMMISSION

Par MM. JULES PETITDIDIER et CHARLES LALLEMAND,
Ingénieurs au corps des Mines.

Troisième fascicule (*).

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Le présent fascicule (le second relatif au bassin de la Loire) comprend 83 accidents survenus dans les sept concessions de Villars, la Péronnière, la Chazotte, le Montcel, Méons, Comberigole et Terrenoire.

M. G. Chesneau, ingénieur des mines, a bien voulu revoir le manuscrit et les épreuves de cette livraison. Nous tenons à lui adresser ici tous nos remerciements pour le concours dévoué qu'il nous a apporté.

Paris, le 15 septembre 1883.

(*) Voir pour les deux premiers fascicules, *Annales des mines*, année 1882, 1^{er} vol., p. 293, et 2^e vol., p. 393.

STATISTIQUE DES MINES DE HOUILLE. DE SAINT-ETIENNE.

6. — Concession

(Instituée par décret

CAUSES DE L'ACCIDENT		
Causes directes		Causes indirectes.
de accumulation du gaz. 8	de l'indam- nation du gaz. 9	
Chantier en cul- cas.	Lampe à feu nu.	"
■	Lampe de sûreté dont le treillis avait rougi	Imprudence de la victime, qui portait sa lampe inclinée.
?	?	?
	Id.	Imprudence de la victime, qui aura abaissé sa lampe en la voy- ant rougir.
Chantier en cul- cas.	Lampe à feu nu.	"
Chantier en for- de cloche.	Lampe détamisée.	Imprudence de la victime, qui avait ouvert sa lampe.
?	?	"
Dégagement ro- de grisou dans remonée en roement.	Passage de la flamme	

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Villars (ville).

OBSERVATIONS

11

étaient probablement allés étayer le chantier ; l'un d'eux était en suocombèrent aux suites de leurs brûlures.

Remarques particulières. — Quelques lampes ont été b produit et aucun cadre n'a été arraché. Les bois étaient noirs.

On a supposé qu'un dégagement subit de gaz avait fait sair les tombée ou avait été posée à terre dans une position inclinée.

Les lampes de cet accident sont restées obscures, l'état des bœu

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se rendait à a de Villars. En entrant dans la remontée où se trouvait son chant de la galerie et éleva les bras pour se retenir au boisage ; dan inclinée, mit le feu à une petite quantité de grisou accum grièvement.

Indications générales. — Au bout d'une galerie de niveau, l on perçait une remontée qui devait aboutir à un niveau supérieur était abondant, on avait placé un ventilateur au bas de la rem dernière par l'air poussé dans la galerie de niveau. Tous les jou ventilateur.

Circonstances de l'accident. — Pendant que des ouvriers a purgés, une explosion eut lieu ; tous, au nombre de 7, furent bri blessures.

Remarques particulières. — Le gaz chassé par le ventila sûreté dévissés.

Une des victimes a prétendu qu'un de ses camarades avait ouv ce dernier a nié le fait, mais n'a pu expliquer par quel hasard sa lampes de sûreté étaient bien entretenues et fermées avec auti probable que la lampe retrouvée ouverte l'avait été volontairem

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Villars (suite).

OBSERVATIONS.

41

L'aérage de la galerie de niveau était suffisant; mais le ventilateur placé au h pouvait envoyer dans celle-ci que de l'air déjà vicié.

Cet accident met en évidence la nécessité de placer dans un courant d'air pe chantiers grisouteux.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait à l'avancement d'un pas dans son chantier des écolins qu'il y avait déposée la veille, il pensa qu'on dans une remontée voisine. Il pénétra dans cette remontée, longue de 10^m et d'air, après avoir détaché sa lampe pour y voir plus clair. Arrivé près du front une petite explosion de grisou qui le brûla mortellement. Deux autres ouvriers le niveau, à 9^m de la remontée, au point de croisement d'un plan incliné dans les d'air, furent légèrement brûlés.

Remarques particulières. — Le gaz n'était pas abondant dans la partie d s'est produit.

Le niveau et la remontée, où a eu lieu l'explosion, n'étaient aérés que par d

Les lampes de sûreté étaient remises aux ouvriers sans être fermées à clef, mal de 27 juillet 1896 et l'ordre de service de l'ingénieur principal des houillères de la

Indications générales. — L'air entrant par la fessue de Villars, suivait le niv de profondeur, remontait un plan incliné à l'extrémité de ce niveau, revenait par s'est produit, en aérant par diffusion les galeries latérales, et se dirigeait vers le p

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait au boisage d'un nivel d'air; il détacha sa lampe de sûreté fermée à clef; une explosion se pro mortellement.

Deux ouvriers, qui se trouvaient dans une remontée voisine, furent grièvement b

Remarques particulières. — Après l'accident, le grisou existait au toit centimètres d'épaisseur.

Circonstances de l'accident. — Une galerie au charbon avait été ouve remontée très inclinée, de 30^m de longueur et dirigée dans le plan d'un rejet; aérée au moyen d'un ventilateur et d'une colonne de tuyaux; mais cette colon jusqu'au sommet, avait été disjointe vers son milieu par des éboulements.

Après un jour de chômage, on déblayait la galerie inférieure pour réparer l'entrepreneur, qui faisait fonction de sous-gouverneur, envoya un ouvrier cher de la galerie supérieure, en lui recommandant de s'arrêter s'il remarquait la prés

À bout de quelques minutes, les autres ouvriers ne voyant pas revenir leur cam

6. — Conclusion.

NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond.	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
N.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
				de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
			Tonnes			
	1 Brûlé légèrement.	7	33.974	Chômage de 28 heures dans un chantier faiblement grisouteux.	Lampe à feu nu.	Imprudence de l'entrepreneur des travaux, qui aurait dû visiter les chantiers avec une lampe de sûreté avant l'arrivée des ouvriers.
	1 Brûlé légèrement.	406	38.024	Aérage par diffusion insuffisant.	Lampe de sûreté ouverte.	Imprudence de la victime qui avait pénétré dans son chantier avec une lampe ouverte.
	1 Brûlé légèrement.	14.	14.	Remontée en cat-de-mac.	Lampe de sûreté ouverte ou en mauvais état.	Imprudence de la victime. ou Défaut de surveillance dans l'entretien des lampes.

2. — GROUPE DE LA LOIRE

a. — Département de la Loire.

de Villars (suite).

OBSERVATIONS.

11

recherche, et, après avoir éprouvé les premiers symptômes de l'asphyxie, purent arriver au sommet de la remontée où ils le trouvèrent asphyxié.

Remarques particulières. — La lampe de la victime fut retrouvée accrochée à l'un des cadres de la remontée, à une assez grande distance du sommet.

L'entrepreneur n'eût pas dû envoyer, sinon sans de grandes précautions, un ouvrier dans la remontée où il soupçonnait la présence du grisou.

Indications générales. — On travaillait à l'approfondissement du puits Beaunier et après avoir traversé 50^m de rocher, on avait rencontré une alternance de schistes et de filets charbonneux. Un faible dégagement de grisou ayant été constaté, on avait laissé les lampes à feu nu pour prendre des lampes de sûreté; puis on était revenu aux premières après avoir constaté qu'il ne se dégageait plus de gaz.

Circonstances de l'accident. — Après un chômage de 16 heures, pendant que l'entrepreneur des travaux inspectait, avec une lampe à feu nu, une galerie voûtée percée au niveau des schistes et filets charbonneux, une subite inflammation de gaz eut lieu. Un ouvrier qui se trouvait près de là fut brûlé très légèrement, l'entrepreneur n'eut aucun mal.

Remarques particulières. — Quelques jours avant l'accident, après un chômage de 48 heures, l'ingénieur avait visité le chantier et aucune trace de grisou n'y avait été remarquée; ce qui explique la trop grande confiance de l'entrepreneur dans l'absence du gaz.

L'ouvrier légèrement brûlé était nu jusqu'à la ceinture.

Indications générales. — L'aérage ne se faisait que par diffusion. La couche était grisouteuse. Le travail ordinaire se faisait avec des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — On était en train de tracer la fondue. Un ouvrier, en pénétrant dans une petite galerie de niveau percée dans la couche à une petite distance du fond, mit le feu, avec sa lampe de sûreté ouverte à une petite quantité de grisou qui le brûla légèrement.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier pénétrait à l'entrée d'une remontée en cul-de-sac, lorsqu'une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe de sûreté et le brûla légèrement.

Remarques particulières. — L'explosion fut très faible et locale.

Il est probable que la victime avait sa lampe ouverte, ou la tenait fortement inclinée.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

a. — Catastrophes

NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond	PRODUCTION annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
As.	Blessés.			Causes directes		Causes indirectes.
				de l'accumulation du gaz.	de l'inflammation du gaz.	
6	5	3	7	8	9	10

7. — Concession
(Instituée par décret

			Tonnes		Lampe à sou. au.	Impudence de la victime, qui avait pénétré dans son chantier avec une lampe à sou. au., malgré la défense qui en était faite.
	Blessé légèrement.	†	†	•		
1	•	150	43.500	•	■	Impudence de la victime, qui avait pénétré dans son chantier, avant que le gouverneur l'eût visité.
	Blessé assez grièvement.	70	23.005	• Chantier en exploitation.	Id.	Négligence du gouverneur, qui avait laissé la victime pénétrer.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Villiers (suite).

OBSERVATIONS.

41

grison. Enfin, cette poussière de houille enflammée peut quelquefois encore donner lieu au phénomène connu sous le nom de *retour de flamme*.

Le fait des lampes retrouvées allumées près des ouvriers auxquels elles appartenaient, ouvriers qui avaient péri asphyxiés, montre qu'un air propre à la combustion peut être irrespirable; cela arrive quand cet air, tout en renfermant une proportion encore très grande d'oxygène, est vicié par des gaz, tels que l'acide carbonique, qui ne se sont pas formés aux dépens de son oxygène mais se sont simplement mélangés à lui, ou encore lorsque cet air est mélangé à des gaz combustibles délétères tels que l'oxyde de carbone. Dans certaines circonstances, la combustion du grison et la combustion incomplète des poussières peuvent sans doute donner naissance à ce gaz.

L'aérage naturel, dont on se contentait habituellement dans le bassin de la Loire était souvent insuffisant.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Une circulaire du 14 janvier 1868 a recommandé l'usage de la lampe Mueseler et la ventilation artificielle.

Les exploitants ont adopté la lampe Mueseler.

de la Péronnière.

du 13 Janvier 1842).

Indications générales. — Il était défendu aux ouvriers occupés dans les travaux du puits Pincy d'y travailler avec des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier pénétrait dans un chantier avec une lampe à feu nu. Un peu de grison qui s'y était accumulé, prit feu et le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Simple flambée de gaz.

Indications générales. — Tous les jours avant l'arrivée des ouvriers, le gouverneur visitait les chantiers avec une lampe de sûreté afin de s'assurer de l'absence du grison.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, en pénétrant dans son chantier avec une lampe à feu nu, mit le feu à une petite quantité de grison qui le brûla mortellement.

Remarques particulières. — Le chantier n'était aéré que par diffusion.

Indications générales. — Le grison ne s'était pas montré depuis plusieurs années dans les travaux du puits Pincy. — On y travaillait avec des lampes à feu nu. — Le gouverneur faisait chaque matin, avec une lampe de sûreté, la visite des chantiers avant l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Pendant que le gouverneur faisait sa visite, un ouvrier arrivait à son

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de la Péronnière (suite).

OBSERVATIONS.

11

chantier, pensant à tort qu'il avait déjà été visité. Un peu de grisou s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla assez grièvement.

Remarques particulières. — Le chantier de l'accident n'était aéré que par diffusion. Les travaux étaient en plein massif et en remontant ; la présence du grisou était donc à redouter. Le gouverneur n'aurait pas dû permettre qu'un ouvrier pût pénétrer dans son chantier avant la visite.

Indications générales. — L'aérage général était excellent.

Le grisou n'avait jamais été reconnu dans les travaux, sauf le matin de l'accident et encore en quantité très faible.

Les ouvriers avaient chacun à leur disposition une lampe de sûreté et une lampe à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Le gouverneur et un boiseur remplaçaient, dans un chantier en activité, la traverse d'un cadre situé à 1^m environ du front de taille ; pendant ce travail, un éboulement de faible importance eut lieu, et la lampe de sûreté du sous-gouverneur, qui se trouvait accrochée au sommet du montant droit du cadre, fut couverte et éteinte par une poignée de charbon. Le boiseur prit alors sa lampe à feu nu pour aller retirer celle du sous-gouverneur ; comme il se relevait, une petite explosion eut lieu et le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Les ouvriers ayant chacun à leur disposition une lampe de sûreté, il est difficile de s'expliquer pourquoi la victime, sachant que le grisou existait dans son chantier, avait été chercher sa lampe ordinaire et comment le gouverneur, qui était présent, avait permis cette imprudence.

L'emploi des lampes à feu nu aurait dû être interdit puisqu'il y avait des lampes de sûreté.

Indications générales. — On employait les lampes de sûreté dans les galeries sans issues, où on craignait des dégagements de gaz ; dans les galeries à courant d'air, on se servait de lampes ordinaires. Il était expressément défendu aux ouvriers d'élever une lampe à feu nu dans une cloche quelconque ; ils devaient dans ce cas prévenir le gouverneur afin qu'il visitât lui-même le chantier.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier était occupé au relèvement d'une ancienne galerie de roulage ; il était obligé d'enfoncer au toit des pointes de buttes pour soutenir l'avancement. Le charbon étant friable, il se produisit au toit, dans ce travail, des vides en forme de cloche ; voulant constater l'état de ces vides, l'ouvrier éleva sa lampe à feu nu ; aussitôt une petite quantité de gaz s'enflamma et le brûla légèrement à l'avant bras et au visage.

Indications générales. — L'aérage, bien que se faisant par diffusion, était cependant considéré comme suffisant. Le gouverneur devait visiter les chantiers avant l'arrivée des ouvriers. Lorsque l'absence du grisou y était constatée, on employait des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier du poste de nuit venait d'arriver à son chantier, à l'extrémité d'une galerie aérée seulement par diffusion, dans une partie de la mine où le grisou se montrait en petite quantité et d'une manière irrégulière ; comme les jours précédents, il était muni d'une lampe à feu nu. Une petite quantité de grisou s'enflamma et lui fit des brûlures sans gravité.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

La Première (suite).

OBSERVATIONS.

11

Remarques particulières. — La présence du grisou dans ce chantier avait matin et le piqueur du jour s'était servi d'une lampe de sûreté; mais le gouverneur fait sa visite, la victime n'avait pas été prévenue de la présence du gaz.

Indications générales. — Le grisou ne s'était jamais montré dans les bennes I Conche. Cependant on se servait partout de lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — On travaillait à un chantier en remonte, de 6' à 16" du courant d'air. Un ouvrier venait de prendre son repas et rentrait dans lampe Dabruille qu'il avait rallumée et laissée ouverte. Il éleva sa lampe au toit et explosion qui le brûla légèrement. Un autre ouvrier, qui se trouvait près de lui, ne

Indications générales. — Il était expressément recommandé aux ouvriers de dans les cloches avant d'avoir averti le gouverneur, afin que ce dernier pût les visiter. Dès que la présence du grisou était signalée, les ouvriers étaient munis de lampe

Circonstances de l'accident. — Un boiseur travaillait dans une galerie en p de longueur et à l'extrémité de laquelle passait le courant d'air; le grisou ne s'y ét

Am moment où il allait prendre son repas, un petit éboulement produisit une galerie, à 5 mètres de l'entrée; il n'en avertit pas le gouverneur. Après avoir déjà travail, accrocha sa lampe à feu nu contre un bois et éleva les bras dans la c compte de la dimension des bois dont il avait besoin pour la garnir; ce mouvement une petite quantité de gaz qui s'y trouvait et qui vint s'enflammer sur sa lampe; u et le brûla assez grièvement.

Indications générales. — Le gaz avait été rencontré dans cette région lo montrait encore dans les chantiers en cul-de-sac éloignés du courant d'air. Il était avec une lampe à feu nu dans les cloches produites par des éboulements.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans une taille légère le front, situé à 7" du courant d'air, s'arrêtait à un redressement de la couche. E son repas, un éboulement se produisit au toit et contre le front de taille, sur reentrant au chantier, il voulut examiner avec sa lampe à feu nu le vide produi l'inflammation du grisou qui s'y trouvait. Il fut grièvement brûlé.

Remarques particulières. — Il y a eu grande négligence de la part du sous-g vu l'éboulement, n'avait pas remis à l'ouvrier, victime de l'accident, une lampe d aurait dû, dans tous les cas, se conformer à la défense générale qui avait été faite.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

la Péronnière (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était suffisant.

Les galeries et les chantiers du puits Sainte-Camille étaient très secs et très poussiéreux. Parfois, pendant l'abatage du charbon, la poussière était assez abondante pour former un nuage qui interceptait la lumière à moins de 20^m de distance. Le grisou ne s'était jamais montré dans le lieu de l'accident.

Circonstances de l'accident. — Un coup de mine avait été préparé dans un massif de houille adjacent à la voie d'aérage. La charge était de 200 à 220 grammes de poudre. Deux ouvriers, après avoir mis le feu au coup de mine, se retirèrent à une dizaine de mètres dans la voie d'aérage. Aussitôt après l'explosion, ils virent arriver subitement sur eux une flamme éblouissante qui les brûla grièvement.

Remarques particulières. — On n'a jamais retrouvé trace de grisou dans le chantier après l'accident. On a retrouvé sur les boisages du chantier, sur le plafond et la sole, ainsi que sur les corps des deux victimes de nombreuses particules de charbon carbonisé.

Cet accident ne paraît pas être, à proprement parler, un accident de grisou.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des recommandations ont été faites pour que les chantiers poussiéreux soient arrosés fréquemment.

Indications générales. — La mine dégageait peu de grisou et on n'y employait normalement que des lampes à feu nu. Toutefois le Directeur des travaux avait formellement prescrit de ne pénétrer dans les chantiers en cul-de-sac, cloches d'éboulement, etc., qu'avec des lampes de sûreté. De plus les gouverneurs devaient visiter les chantiers avant l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Un éboulement de 2^m de longueur, sur 1^m 50 de largeur et 2^m 10 de hauteur, s'était produit au toit d'une galerie d'aérage aboutissant à la recette supérieure du puits Sainte-Camille.

Le gouverneur envoya pour réparer le dégât deux ouvriers, sans se préoccuper de les munir de lampes de sûreté. Dès leur arrivée, une inflammation de gaz se produisit et fit à l'un d'eux des brûlures graves. L'autre ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — L'inflammation ne s'est pas propagée au dehors de la cavité et n'a laissé dans celle-ci, ni dépôt de coke, ni trace d'exsudation sur les bois résineux.

de la Chazotte.

du 18 Juillet 1825).

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés dans une galerie ; l'un d'eux, en élevant sa lampe pour voir une cloche produite par un éboulement, mit le feu à une petite quantité de grisou qui le brûla ainsi que son camarade.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de la Chazotte (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, en entrant dans quantité de grisou; il fut brûlé assez grièvement. L'explosion propagea pas.

Remarques particulières. — Le gouverneur avait visité le l'arrives des ouvriers; aucune trace de grisou n'y avait été rema

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers arrivaient : Gabet, chanlier qui était situé à quelques mètres du courant d'air et, avant de se mettre au travail, ils chassaient le gaz en agitant

Le gouverneur, voyant ces ouvriers chasser le grisou, emmena avec des lampes à feu nu dans la galerie de retour d'air, près de deux explosions successives se produisirent. L'un des deux ouvriers à feu nu avait déterminé l'inflammation du mélange grisoueux; les 5 ouvriers furent brûlés plus ou moins grièvement; deux d'e brûlés.

Indications générales. — La 15^e couche du puits Lucy des Le travail ordinaire se faisait avec des lampes à feu nu, après une une lampe de sûreté; des lampes à treillis étaient d'ailleurs mise

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés l'un d'eux, ayant besoin d'un pic pour préparer la place d'un cadastre fermait des outils, se dirigea de ce côté muni de sa lan quelques pas dans ce chantier disposé en ramonte, qu'une explosion l'autre ouvrier, resté à son travail, fut projeté à quelques pas par de l'explosion, mais il n'eut aucun mal.

Remarques particulières. — L'ouvrier victime de l'accident cadait l'entrée du chantier abandonné; il n'avait pas songé que de de s'y accumuler en assez grande quantité pour provoquer une explosion de se munir d'une lampe de sûreté.

Indications générales. — Le grisou n'existait dans la 15^e quantité. Le travail ordinaire se faisait avec des lampes à feu nu les chantiers.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, sans attendre son travail dans un chantier en ramonte, de 7 à 8 mètres, situé élevant sa lampe à feu nu pour examiner l'effet produit par une faible explosion de grisou qui le brûla assez grièvement.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

2. — CONCESSION

LIEU de l'acci- dent 3	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond 4	PRODUCTION annuelle de la mine. 5	CAUSES DE L'ACCIDENT		
	Tués. 6	Blessés. 7			Causes directes		Causes indirectes. 10
					de l'accumulation du gaz. 8	de l'indam- nation du gaz. 9	
Puits Lucy. — 45 ^e couche (banc supé- rieur).	•	2 Brûlés légère- ment.	943	149.798	Galerie en cul- de-sac.	Lampe à feu nu.	•
Puits Lucy.	•	1 Brûlé légère- ment.	11	10.	•	Lampe de sûreté dont le treillis était en mauvais état.	•
Puits Lucy.	•	1 Brûlé.	10.	11	Remontée en cul-de-sac.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime, qui avait pénétré avec une lampe à feu nu dans une re- montée en cul-de- sac, sans avoir prévenu le gou- verneur.
Puits Baby — 45 ^e couche (la Vaure) (banc supé- rieur).	•	2 Brûlés griève- ment.	817	176.838	Chantier en re- monte et en cul- de-sac.	Lampe de sûreté mal fermée.	Négligence de l'une des victimes, qui ne s'était pas assurée que sa lampe de sûreté était vissée à fond Négligence du lampiste qui avait rendu à la victi- me une lampe mal fermée

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

2. — Département de la Loire.

de la Chaux-de-Fort (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — La 13^e Couche du puits Lney donnait du grisou en Le travail ordinaire se faisait avec des lampes à feu nu et, par mesure de précaution visitait les chantiers avant le commencement de la journée.

Circonstances de l'accident. — Au commencement du 2^e poste, deux ouvriers dans une galerie en cul-de-sac de 7 mètres de longueur ; l'un d'eux, en élevant sa lampe à une petite quantité de grisou qui le brûla légèrement ainsi que son camarade.

Indications générales. — Le grisou existait en petite quantité. Depuis peu de temps que des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — On creusait une galerie à travers-bancs à part pour atteindre la 13^e couche. Une petite quantité de grisou s'enflamma sur une lampe treillis était en mauvais état et brûla légèrement l'ouvrier qui en était porteur.

L'explosion fut faible.

Circonstances de l'accident. — Quatre boisours devaient poser deux cadres dans la galerie, ils étaient munis de lampes à feu nu. Voyant que l'emplacement des cadres terminés, ils se rendirent, sans prévenir le gouverneur, dans une remontée en cul-de-sac travailla la veille avec des lampes à feu nu. L'un d'eux, en élevant sa lampe au toit y cadre, déterminait une légère explosion de grisou qui lui causa des brûlures mortelles.

Remarques particulières. — Un arrêté préfectoral du 29 septembre 1833, prescrivait l'usage des lampes à feu nu dans les remontées en cul-de-sac, etc ; si cette mesure avait été observée, les ouvriers n'auraient pas dû travailler, porteurs de lampes à feu nu, dans ce lieu l'accident.

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement du puits Baby au courant d'air principal était assez vif.

La 13^e Couche du puits Baby était grisoueuse, dans tous les chantiers en cul-de-sac avec des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés dans un chantier en cul-de-sac, de 12^m de longueur à partir du courant d'air. A la fin du poste, comme petite quantité de grisou qui s'était accumulée pendant la durée de leur travail, prit feu à la lampe de l'un d'eux et le brûla grièvement. L'explosion resta localisée.

Remarques particulières. — La lampe, cause de l'accident, avait été remise à l'ouvrier. Ce dernier aurait dû s'assurer de l'état de sa lampe en la recevant.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de la Chazotte (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — On trouvait dans les travaux du puits Jules une quantité un peu plus forte qu'au puits Louise.

On employait des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier mit le feu, avec sa lampe de sûreté de la treillis, à une petite quantité de grisou qui le brûla légèrement.

Indications générales. — L'aérage général de la mine laissait à désirer. Les galeries d'air arrivait dans les travaux, étaient en mauvais état et n'avaient en plusieurs points des sections; de plus les portes d'aérage laissaient passer une assez grande quantité d'air.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient au bas d'une descente que faisait cette descente avec un niveau en percement; ces deux galeries n'étaient pas en diffusion. L'un des ouvriers avait détaché sa lampe de sûreté et l'avait accroché au bois.

Un petit éboulement se produisit au toit de la galerie et fut suivi d'une explosion de grisou qui tua l'un des ouvriers et causa à l'autre des brûlures légères.

Remarques particulières. — L'éboulement avait rabattu sur la flamme de la lampe de sûreté de gaz logée entre les cadres ou dégagée au moment même.

Indications générales. — Le courant d'air était bon et sa marche convenablement.

Circonstances de l'accident. — Dans la couche de la Vauze, on défilait une descente au toit une planche de 1^m à 1^m 50 de charbon, laissée lors du traçage. Le boisier qui était au chantier avant l'arrivée des ouvriers ayant vu qu'un éboulement important s'était produit dans la galerie, en avertit le gouverneur qu'il trouva près du puits avec une lampe à feu nu. Ce dernier, pour changer sa lampe, se rendit dans la descente, monta sur l'éboulement et, en descendant, déterminant une explosion de grisou qui le brûla mortellement ainsi que les deux piqueurs qui étaient arrivés au chantier.

Remarques particulières. — Le grisou n'avait pas été aperçu dans la descente avant l'accident. Les ouvriers y employaient cependant des lampes de sûreté.

Indications générales. — Depuis le commencement de l'année, l'emploi des lampes de sûreté était généralisé dans tous les chantiers en avancement et en cul-de-sac.

Circonstances de l'accident. — Un éboulement s'était produit dans une remontée d'air. Le sous-gouverneur conduisait les ouvriers dans cette remontée afin de réparer le toit par l'éboulement, tous les ouvriers étaient munis de lampes de sûreté; le sous-gouverneur avait une lampe à feu nu, bien que l'emploi en fût défendu dans les galeries en réparation. Le sous-gouverneur, pour montrer aux ouvriers le travail qu'ils avaient à faire, le sous-gouverneur alluma sa lampe au toit, pour montrer aux ouvriers le travail qu'ils avaient à faire, le sous-gouverneur alluma une petite quantité de grisou et fut brûlé légèrement ainsi que l'un des ouvriers.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

2. — Département de la Loire.

de la chanotte (suite).

OBSERVATIONS.

14

Indications générales. — L'aérage des travaux se faisait naturellement; il était nul à leur peu de développement.

Circonstances de l'accident. — Une cheminée en percement à l'extrémité d'un courant d'air, avait été provisoirement abandonnée à 35^m de longueur. Le gouverneur, la présence du grisou, l'avait barrée avec deux écus en croix. Trois jours après, cherchant un outil qu'il avait égaré, y pénétra avec sa lampe à feu nu et détermina une explosion qui lui causa des brûlures mortelles.

Remarques particulières. — La remontée, bien que située à 30^m du courant d'air, que par diffusion. Le barrage de la cheminée au moyen de deux écus en croix comme insuffisant. La circulaire ministérielle du 6 décembre 1872 prescrivait un tel rendant réellement impossible l'accès des galeries dangereuses abandonnées.

Indications générales. — L'air arrivait du puits Marie par la grande galerie horizontale au puits Lucy, suivait la galerie supérieure, descendait la dernière remontée et la galerie inférieure à la grande galerie qu'il suivait jusqu'au puits Lucy.

Deux galeries conjuguées étaient poussées en demi direction dans la couche quatorze la grande galerie horizontale qui réunissait les puits Marie et Lucy. Ces galeries longueur environ, et la dernière remontée qui les réunissait se trouvait à 30^m des fronts 30^m de longueur; une nouvelle remontée était commencée à 25^m de la précédente.

Le grisou s'était montré plusieurs fois à l'avancement de la galerie inférieure et on lui avait établi dans le courant d'air pour sécher le chantier.

Circonstances de l'accident. — Les ouvriers de la galerie inférieure qui perçaient ayant reconnu la présence du grisou dans leur chantier, se rendirent dans la galerie supérieure pour achever le percement en descendant. Un havage ayant percé dans la partie supérieure le grisou se répandit dans la galerie supérieure en quantité assez grande pour éteindre plusieurs reprises.

Malgré cela, un coup de mine fut préparé à l'avancement de la galerie supérieure; un morceau d'amadou dans la vole d'aérage et le remit à l'un des chefs de poste pour l'allumer; mais au moment où ce dernier soufflait sur l'amadou pour en raviver le feu se produisit. Cinq des ouvriers furent très gravement brûlés; quatre d'entre eux moururent de leurs brûlures. Le 6^e ouvrier, qui roulait une benne dans la galerie inférieure, fut blessé et n'eut aucun mal.

Remarques particulières. — Deux ouvriers et un entrepreneur faisant fonctions de chef étaient employés à l'avancement de chacune des galeries; le charbon était très dur, la poudre.

Ces chefs de poste n'étaient sous la direction d'aucun gouverneur ou sous-gouverneur commandés que par le Directeur qui visitait leur chantier une fois par semaine. Ce sont les arrêtés préfectoraux du 29 septembre 1835 et du 5 septembre 1861, ils faisaient eux-mêmes leurs chantiers et allumaient leurs coups de mine.

De plus, le Directeur n'avait pas défendu d'une manière formelle le tirage à la pouce du grisou.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

B. — Concession

LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		OUVRIERS au fond 4	PRODUCTION annuelle de la mine 5 Tonnes	CAUSES DE L'ACCIDENT		
	Tués. 6	Blessés. 7			Causes directes		Causes indirectes. 10
					de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
Puits Marie.	0	1 Brûlé légère- ment.	277	77.024	Surélévation du toit à l'entrée d'un niveau devant le- quel passait ce- pendant le cou- rant d'air.	Lampe Mutseler ouverte.	Imprudence du gouverneur, qui avait ouvert sa lampe de sûreté à l'entrée d'un niveau en perc- ment devant le- quel passait le courant d'air.

9. — Concession
(Instituées par décret

Puits Saint- Martin.	0	1 Brûlé assez griève- ment.	88	23.732	Suspension du travail dans une remontée pendant un jour de chô- mage.	Lampe à feu nu.	Imprudence de la victime, qui s'était introduite avec une lampe à feu nu dans une remontée, après un jour de chômage. Négligence du gouverneur, qui n'avait pas fait la visite régle- mentaire.
Puits Saint- Anne.	0	1 Brûlé légère- ment.	103	30.986	Disposition en cul-de-sac d'une galerie légère- ment montante.	Id.	Négligence de l'entrepreneur, qui, malgré les ordres reçus, n'a- vait pas donné de lampes de sûreté aux ouvriers.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de la Chanette (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — L'aérage était peu actif. Une porte força d'Ouzon à descendre une galerie sinueuse, en grande partie comprise à passer devant l'unique chantier en activité. Mais cette porte était soumise au roulage, et une partie de l'air se rendait directement au puits Marie.

Le grisou ne se montrait que rarement et en faible quantité dans les

Circonstances de l'accident. — Un gouverneur se trouvait avec un percement devant lequel passait le courant d'air. Voulant rallumer la lampe Mutsaer et détermina l'explosion d'une petite quantité de grisou, soit, qui le brûla légèrement. Son fils, qui se trouvait dans le niveau à 30

Remarques particulières. — Le chantier où l'accident s'est produit sur 15^m de longueur.

du Montcel.

du 18 Juillet 1825).

Indications générales. — Le gouverneur avait le devoir de visiter la l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — On exploitait une couche divisée en rocher de 2^m; un ouvrier était occupé au défilage de la tranche inférieure seulement par diffusion; il travaillait muni d'une lampe à feu nu. Étant de la tranche supérieure dans l'espoir d'y trouver du charbon éboulé il détermina l'inflammation du grisou qui s'y était accumulé pendant un assez gravement.

Remarques particulières. — Le matin de l'accident, le gouverneur réglementaire.

Indications générales. — On travaillait à une galerie partant du puits du Pré-Soleil, dont elle devait améliorer l'aérage.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier était occupé à remplir subitement feu à sa lampe et lui fit des brûlures sans gravité.

Remarques particulières. — Depuis quelques jours, on avait vu Sainte-Anne, qui allait légèrement en montant, la présence d'une faible quantité de la galerie n'était encore que de quelques mètres. Le 31 décembre, le aperçu que le grisou était plus abondant; il s'était empressé de faire et avait recommandé à l'entrepreneur d'aller les prendre pour les donner avait négligé de le faire.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

2. — Concession

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	N O M B R E d'ouvriers		O U V R I E R S au fond. 6	P R O D U C T I O N annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes Indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
216	1854 6 Février	Puits du Pré- Soleil. — Couche de la Vauze. — Banc supé- rieur.	1 Brûlé.	2 Brûlés légère- ment.	98	Tonnes 40.115	Ramonte en cui- de-sac, abandon- née depuis plu- sieurs jours.	Lampe à feu nu.	Imprudence d l'une des victimes, qui avait pénétré avec sa lampe à feu nu dans un ramonte abandon- né et barré.
217	1855 23 Août	Id. — Id. — Id.	1 Brûlé légère- ment.	1	100	45.095	Gloche produite par un léger ébou- lement au toit d'un chantier.	Id.	Imprudence d la victime, qui avait élevé sa lampe dans une cloche au toit d son chantier.
218	1857 14 Octobre	Puits Sainte- Anne.	1 Brûlé légère- ment.	1	222	72.700	Suspension de travail, pendant un chômage de 20 minutes, dans un chantier d'ail- leurs convenable- ment aéré.	Id.	•

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

A. — Département de la Loire.

du Montcel (suite)

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage ne se faisait que par diffusion. Le puits du Pré Soi les couches dites de la Vauze, à 166^m de profondeur. Les deux couches étaient séparées l'une de l'autre de 2 à 3 mètres.

La couche supérieure seule dégagait du grisou en très faible quantité. Au sommet inclinée deux niveaux en préparation étaient poussés vers le puits Saint-Anne. L'avant remonte, qui se prolongeait d'une douzaine de mètres au-dessus des niveaux, avait été une fois ou deux jours et on l'avait barrée.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se dirigeait avec sa lampe à feu nu vers la remonte, au-dessus des niveaux; il y était à peine depuis quelques instants, lorsque le grisou s'enflamma et brûla, ainsi que deux de ses camarades qui se trouvaient dans la descente à l'arrière. Le premier seul a succombé aux suites de ses brûlures.

Remarques particulières. — Pour pouvoir mettre le feu au grisou, l'ouvrier qui a eu l'accident s'était avancé de 7 à 8^m dans la galerie en cul-de-sac et franchir les écoinçons en bois qui l'entraînaient de la partie dangereuse.

L'emploi des lampes de sûreté aurait dû être exclusif dans cette région, jusqu'à ce que la galerie fût mise en communication avec le puits voisin. De plus, on aurait dû interdire l'accès de la partie dangereuse, qui était abandonnée depuis 8 jours, de peur que personne ne pût y pénétrer.

Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant. Le grisou se montrait en faible quantité dans les travaux du puits du Pré-Salot et l'on y employait des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Un piqueur travaillait à l'avancement d'une galerie le long du puits du Pré-Salot. Il quitta son chantier pour aller dîner avec ses camarades qui travaillaient dans une galerie voisine. Pendant son absence un faible écoulement de grisou se produisit; lorsqu'il revint, voyant une petite quantité de charbon ébouillonné du toit de sa galerie, il éteignit sa lampe à feu nu jusqu'au toit. Aussitôt un bruit de détonation se fit entendre et le grisou brûla légèrement; un de ses camarades qui se trouvait près de lui n'eut aucun mal.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été recommandé au gouverneur d'arrêter dans cette partie des travaux, des lampes de sûreté toutes prêtes afin que, en pareille circonstance, l'ouvrier pût constater la présence du gaz et se prémunir contre tout accident.

Indications générales. — L'éclairage, dans les travaux du puits Saint-Anne, se faisait par des lampes à feu nu. Mais, comme parfois des traces légères de grisou se manifestaient, le piqueur visitait chaque matin les chantiers, avec une lampe de sûreté, avant l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Un piqueur, travaillant dans un chantier d'avance, absent pendant 20 minutes pour aller chercher des outils; quelques minutes après son retour, une quantité de gaz s'enflamma sur sa lampe à feu nu et lui fit des brûlures sans gravité.

Remarques particulières. — L'aérage du chantier où a eu lieu l'accident était satisfaisant au moyen d'un ventilateur et de conduites en bois aboutissant à 1^m 50 du front de la mine.

Mesures prises à la suite de l'accident. — L'emploi exclusif des lampes de sûreté a été recommandé jusqu'à l'achèvement du tracé dans cette partie de la mine.

11

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

du Montceul (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Le grisou ne se montrait qu'irrégulièrement et en p la 15^e couche. Le travail ordinaire se faisait avec des lampes à feu nu dans les e aucune du gaz n'avait pas été constatée dans la visite du gouverneur.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier était occupé à boiser un chantier moment où il élevait sa lampe à feu nu, au toit, contre le front de taille, une petite s'endamma et se brûla assez grièvement. Deux autres ouvriers qui travaillaient à c pas atteints.

L'explosion fut faible et locale.

Remarques particulières. — Le gouverneur faisait une visite quotidienne dans le commencement du travail. Le jour de l'accident, il n'avait pas constaté la présence

Indications générales. — Le grisou apparaissait au puits Sainte-Anne, quantité qu'on y travaillait avec des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient occupés dans une petit 6 mètres du courant d'air ; une faible explosion de grisou s'étant produite, l'ouvrier du front de taille fut légèrement brûlé ; l'autre, placé à 2^m en arrière, ne fut pas attei

Remarques particulières. — Le gouverneur, en faisant sa tournée, n'avait l'accident, aucune trace de grisou.

Indications générales. — L'air entrant par le puits Lacroix dans la galerie ventilateur placé à l'extrémité de la galerie le renvoyait dans une colonne de tuyv front de taille, suivant la galerie et le puits et débouchant sous le massif des chaudiè La couche était grisouteuse. Le travail se faisait avec des lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers travaillaient, sous la surveillance du percement d'une galerie partant du puits Lacroix et poussée dans la couche des 8 une des lampes non fermées à clef avait été posée à terre près d'une benne ; elle se li engage sous l'une des roues par suite d'un mouvement imprimé à la benne, car ouvrier voulut la déplacer, le treillis se détacha. Il s'ensuivit une explosion qui t trois ouvriers et légèrement le gouverneur ; l'un d'eux mourut des suites de ses brûls

Explosion locale assez faible.

Remarques particulières. — Le réservoir de la lampe, cause de l'accident, a été des roues de la benne ; le pas de vis était détérioré.

Indications générales. — La couche de la Vauze comprenait 2 bancs et avait e de 7^m. Elle dégagait du grisou. L'aérage général était satisfaisant, mais la ven ou s'est produit l'accident, n'était obtenue que par diffusion et avec une marche deo depuis le percement d'une remonte qui abrégait le parcours de l'air. Ce chantier éta Sud-Ouest des travaux et dans le voisinage d'une faille. Le grisou se dégagait abondance pour que sa présence y fut sensible à la lampe au toit des galeries.

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

B. — Concessions

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond 6	PRODUCTION 7 jours de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
		Niveau de 204 ^m					son état favorisait par le voisinage d'une faille.		lampe de sûreté qui l'aurait man- quée ensuite sans précaution.

10. — Concession

(Instituée par décret

123	1830 Septem- bre.	Mars. — 13 ^e couche.	"	1 Brûlé griève- ment.	138	Tonnes 36.300	"	Lampe à feu nu.	"
124	1832 2 Juillet	Puits de l'Eclat.	2 Brûlés.	"	78	39.300	Cbômage géné- ral de 36 heures.	Id.	Imprudence des victimes, qui a- vaient pénétré dans leur chantier avec des lampes ordinaires, après un chômage de 36 heures.

REVUE

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GHOUE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Mions (suite).

OBSERVATIONS.

11

On employait simultanément dans cette mine les lampes à feu nu pour les galeries de roulage et les lampes de sûreté dans les chantiers suspects.

Circonstances de l'accident. — Une explosion, dont la cause immédiate n'a pu être établie avec certitude, s'est produite dans un chantier placé en dehors du courant d'air, pendant qu'un ouvrier travaillait au dépiége d'un petit massif de charbon, situé contre une faille limitant l'exploitation du puits Saint-Martin. Les ouvriers qui s'étaient vus tout à coup entourés de fumée, prirent la fuite dans la direction du courant d'air; l'un d'eux, tombé en chemin, a été mort; deux autres ont succombé quelques jours après des suites de leurs brûlures; un quatrième a été grièvement brûlé.

La commotion de l'explosion a été ressentie à 200^m de distance. Une porte d'aérage détruite, l'air se rendait directement au puits de retour sans traverser la zone des dépièges; pour effectuer le sauvetage, construisit un barrage pour y diriger le courant.

Les flammes ne se sont propagées qu'à peu de distance; mais la production de fumées et d'acide carbonique a contribué avec le renversement de l'aérage à l'asphyxie de la première victime.

Remarques particulières. — L'examen des lampes des victimes après l'accident a fait voir qu'elles étaient en bon état, sauf une, dont le tamis était légèrement oxydé et moins souple qu'il avait rougi.

On a remarqué sur quelques cadres, notamment sur ceux qui avoisinaient le chantier de dépiége, une certaine quantité de poussière charbonneuse facilement effaçable avec le doigt.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Le Directeur de la mine s'est engagé à remplacer les lampes de sûreté, les lampes à feu nu qui étaient employées dans certains quartiers.

de Mions.

du 4 Novembre 1824).

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans son chantier, lorsqu'une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla grièvement.

Mesures prises à la suite de l'accident. — A la suite de cet accident, des lampes Davy furent données aux ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers se rendaient à leur travail après un chômage de 36 heures. A peine étaient-ils dans leur chantier, qu'une certaine quantité de grisou s'enflamma sur leurs lampes à feu nu et les brûla tous les trois mortellement.

Remarques particulières. — Des lampes de sûreté étaient à la disposition des ouvriers. La grande imprudence de la part des victimes de pénétrer dans leur chantier avec des lampes à feu nu après un chômage aussi prolongé.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

A. — Département de la Loire.

de Mécenas (suite).

OBSERVATIONS.

11

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Indications générales. — Le grisou se montrait quelquefois dans les travaux du puits Saint-Claude, mais en très faible quantité. Le gouverneur visitait tous les jours les chantiers, muni d'une lampe de sûreté, et faisait détoner le gaz quand il y en avait.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers se rendaient à leur travail. Croyant que leur chantier avait été visité par le gouverneur, ils y pénétrèrent avec confiance; à peine y étaient-ils entrés qu'une petite quantité de grisou s'enflamma sur une lampe à feu nu et les brûla tous les deux.

Remarques particulières. — Le jour de l'accident, le gouverneur n'avait pas fait sa visite quotidienne.

Circonstances de l'accident. — Pas de détails.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, pénétrant dans son chantier avec une lampe à feu nu, mit le feu à une petite quantité de grisou qui le brûla légèrement.

Remarques particulières. — Il était interdit aux ouvriers d'entrer avec des lampes à feu nu dans le chantier où a eu lieu l'accident.

Indications générales. — L'aérage était naturel et en général satisfaisant. Par suite de l'envahissement par les eaux, de la galerie de communication entre les puits de l'Éparre et Saint-Claude et en raison des fortes chaleurs qui régnaient, le courant d'air avait été momentanément intercepté.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier, après avoir préparé un coup de mine au toit d'une galerie y mit le feu. Le départ du coup occasionna une petite explosion de gaz qui le brûla très légèrement à la barbe et à l'épaule gauche.

Remarques particulières. — Un arrêté du 14 mars 1853 prescrivait, pour le tirage à la poudre dans les mines grisouteuses, certaines précautions qui n'ont pas été prises dans cet accident. Mais la mine du puits Saint-Claude n'était plus considérée comme une mine à grisou, la présence de ce gaz n'y ayant pas été constatée une seule fois depuis plus de dix ans.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

10. — Consecration

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	N O M B R E d'ouvriers		O U V R I E R S au fond. 6	P R O D U C T I O N annuelle de la mine. 7	C A U S E S D E L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
220	1862 23 Août	Puits Saint- Claude. — 13 ^e couche.	3 Brûlés.	1 Brûlé légère- ment.	?	Tonnes ?	Galerie de ni- veau de 16 ^m de longueur, aérée seulement par dif- fusion et éboulée sur une longueur de 8 ^m .	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.
231	1868 11 Dé- cembre	Puits Saint- Louis. — 11 ^e couche.	»	1 Brûlé légère- ment.	344	134.233	Chantier en remonte.	id.	Imprudence de la victime, qui avait pénétré dans son chantier avec une lampe à feu nu avant la visite du gouverneur.
232	1869 12 Août	id. — 12 ^e couche.	2 Brûlés.	»	458	134.370	Remonte en cul-de-sac aban- donnée depuis 2 jours, par suite d'une forte venue d'eau provenant d'un tranchant qu'on avait ren- contré et qui dé- gageait en même temps du gaz.	id.	Négligence de la Direction, qui aurait dû défen- dre l'entrée de la remonte avant qu'elle n'eût été visitée.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Mâcon (suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — La couche était peu gaseuse. Le grisou n'avait pas été signalé. On se servait de lampes ordinaires.

Circonstances de l'accident. — Une galerie de niveau partant d'un grand plan incliné a 16^m de longueur; on l'avait abandonnée pour ne pas approcher trop près de parties incan supposait être à 25^m de distance. Un éboulement s'était produit dans cette galerie sur une 18 mètres et deux ouvriers étaient occupés à le relever. L'un d'eux, en montant sur les débris, lampe à feu nu pour examiner la partie supérieure de la galerie qui menaçait de s'écrouler et déterminait une explosion de gaz qui leur causa à tous deux des brûlures mortelles. D'ouvriers, qui se trouvaient dans le plan incliné, furent également brûlés, l'un mortellement légèrement.

L'explosion fut faible et toute locale.

Remarques particulières. — Le courant d'air passait dans le plan incliné, à l'extrémité de la galerie de niveau. Deux heures avant l'accident, le gouverneur avait visité la galerie et avait le droit sans reconnaître la présence du grisou. Peut-être le gaz provenait-il de la distillation de la houille dans des parties en feu distantes de 25^m seulement du lieu de l'accident?

Indications générales. — La 11^e couche était peu gaseuse; la 10^e au contraire, qui était contenait du gaz en quantité notable. Le travail se faisait avec des lampes à feu nu, et les avancements non aérés où l'on se servait de lampes de sûreté. Le gouverneur visitait les chantiers le matin avant l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se rendait à son travail; au moment où il se trouvait sur son chantier, une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe et le brûla très légèrement. Simple fambée de gaz.

Remarques particulières. — Le jour de l'accident la victime avait pénétré dans le chantier avant que la visite ne fût faite et avant l'arrivée de ses camarades.

Circonstances de l'accident. — Deux mineurs venaient avec des lampes à feu nu et des outils dans une remontée en cul-de-sac, longue de 25^m, qu'une forte venue d'eau les avait abandonnés. Le grisou prit feu sur leurs lampes et leur fit à tous deux des brûlures mortelles.

Remarques particulières. — Les arrêtés préfectoraux des 14 février 1825, 29 septembre 27 juillet 1846 prescrivaient : 1^o une visite journalière et à la lampe de sûreté de tous les chantiers; 2^o le maintien en état de bon aérage de tous les travaux momentanés; 3^o l'emploi exclusif de la lampe de sûreté dans les chantiers en cul-de-sac.

On n'avait jamais rencontré de grisou dans cette partie de la mine. Cependant la venue soudaine de la remonte laissait dégager des gaz et quelques heures avant l'accident, un ouvrier par le gouverneur pour voir si l'avancement de la remonte donnait toujours beaucoup de gaz, dépasser le milieu de la remonte et avait dû rétrograder avec sa lampe éteinte. Connaissant ces choses, la Direction aurait dû défendre l'accès de cette remonte jusqu'à complète expulsion de

A. — MINES DE HOUILLE

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

9. — Concession

N ^o d'ordre.	DATE de l'acci- dent.	LIEU de l'acci- dent.	NOMBRE d'ouvriers		O U V R I E R S au fond	P R O D U C T I O N annuelle de la mine.	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués.	Blessés			Causes directes		Causes indirectes.
							de l'accumulation du gaz.	de l'inflam- mation du gaz.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Niveau de 284 ^m					son était favorisé par le voisinage d'une faille.		lampe de sûreté et qui l'aurait ma- nquée ensuite sans précaution.

10. — Concession

(Instituée par décret

222	1830 Septem- bre.	Puits Mars. — 15 ^e couche.	•	1	130	35.800	•	Lampe à feu nu.	•
				Brûlé griève- ment.					
224	1832 2 Juillet	Puits de l'Etang.	3	•	78	30.300	Chômage gé- néral de 36 heures.	Id.	Imprudence des victimes, qui a- valent pénétré dans leur chantier avec des lampes ordinaires, après un chômage de 36 heures

M 70 U

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

1. — Département de la Loire.

de MONTAIGU (ville).

OBSERVATIONS.

71

On employait simultanément dans cette mine les lampes à feu nu pour les galeries de roulage et les lampes de sûreté dans les chantiers suspects.

Circonstances de l'accident. — Une explosion, dont la cause immédiate n'a pu être établie d'une façon certaine, s'est produite dans un chantier placé en dehors du courant d'air, pendant que quatre ouvriers travaillaient au dépitage d'un petit massif de charbon, situé contre une faille limitant le champ d'exploitation du puits Saint-Martin. Les ouvriers qui s'étaient vus tout à coup entourés de flammes, avaient pris la fuite dans la direction du courant d'air; l'un d'eux, tombé en chemin, a été retrouvé mort; deux autres ont succombé quelques jours après des suites de leurs brûlures; enfin le quatrième a été grièvement brûlé.

La commotion de l'explosion a été ressentie à 200^m de distance. Une porte d'aérage ayant été détruite, l'air se rendait directement au puits de retour sans traverser la zone des dépitages; on a dû, pour effectuer le sauvetage, construire un barrage pour y diriger le courant.

Les flammes ne se sont propagées qu'à peu de distance; mais la production de fumées abondantes et d'acide carbonique a contribué avec le renversement de l'aérage à l'asphyxie de la première victime.

Remarques particulières. — L'examen des lampes des victimes après l'accident a fait reconnaître qu'elles étaient en bon état, sauf une, dont le tamis était légèrement oxydé et moins souple, comme s'il avait rougi.

On a remarqué sur quelques cadres, notamment sur ceux qui avoisinaient le chantier de dépitage, une certaine quantité de poussière charbonneuse facilement effaçable avec le doigt.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Le Directeur de la mine s'est engagé à remplacer par des lampes de sûreté, les lampes à feu nu qui étaient employées dans certains quartiers.

de MÉONS.

de 4 Novembre 1824).

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans son chantier, lorsqu'une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla grièvement.

Mesures prises à la suite de l'accident. — A la suite de cet accident, des lampes Davy ont été données aux ouvriers.

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers se rendaient à leur travail après un chômage de 24 heures. À peine étaient-ils dans leur chantier, qu'une certaine quantité de grisou s'enflamma sur leurs lampes à feu nu et les brûla tous les trois mortellement.

Remarques particulières. — Des lampes de sûreté étaient à la disposition des ouvriers. Il y a eu grande imprudence de la part des victimes de pénétrer dans leur chantier avec des lampes à feu nu, après un chômage aussi prolongé.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

10. — Concession

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	N O M B R E d'ouvriers		O U V R I E R S au fond. 6	P R O D U C T I O N annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes directes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
235	1874 4 Juillet	Puits Saint- Louis. — 11 ^e couche.	•	1 Brûlé légère- ment.	726	104.462 Tonnes	Remontée en dé- pilage de 13 ^m de longueur, acérée seulement par dif- fusion.	Lampe à feu nu.	•
236	1880 14 Sep- tembre	Id. — 12 ^e couche. — Galerie princi- pale.	•	1 Brûlé légère- ment.	681	92.319	Dégagement ex- ceptionnel de gri- sou dans la 13 ^e couche ou Arrêt du venti- lateur pendant le changement de poste.	Id.	•

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Mécènes (suite).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — L'air entrant par le puits Saint-Louis, aérait successivement des 11^e, 10^e et 9^e couches et sortait par le puits des Flaches sur lequel était établi un fo Guibal. L'aérage des travaux très étendus du puits Saint-Louis ne donnait lieu à aucune

Circonstances de l'accident. — Trois ouvriers se rendaient à leur travail dans un défilage de la 11^e couche, dans la partie Sud-Est des travaux du puits Saint-Louis. On partait d'un niveau dans lequel passait le courant d'air et avait 15^m de longueur.

L'un des ouvriers était arrivé près du front de taille et posait sa lampe à feu nu à terre, petite explosion de grisou se produisit. Il fut brûlé légèrement; les deux ouvriers qui le près ne furent pas atteints.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était pas montré dans la partie Sud-Est de pendant la période de trépage; pendant le défilage, on ne l'avait rencontré, et encore quantité, qu'à l'avancement du niveau percé dans une partie bouleversée de la couche et courant d'air; on n'employait des lampes de sûreté que dans ce niveau.

Le courant était très suffisant au pied de la remontée où l'explosion s'est produite.

La visite de cette remontée avait été faite par le sous-gouverneur deux heures avant l'acci-

Mesures prises à la suite de l'accident. — A la suite de cet accident, le quatrième 1909 dans la même région de la 11^e couche, la Direction de la mine a prescrit l'emploi de sûreté dans tous les travaux de cette couche situés au Sud-Est du puits Saint-Louis.

Indications générales. — L'aérage général était satisfaisant.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers étaient assis dans une lampisterie à l'entrée de l'air et à 50^m au-delà du point où l'air des travaux de la 13^e couche qui était à joignait le courant d'air principal. L'un d'eux, qui venait de placer sa lampe ouverte sur un mur à 10 au-dessus du sol, se vit tout-à-coup entouré d'une flamme bleueâtre; il appela à son camarade qui se jeta la face contre terre et lui cria d'en faire autant. Lorsqu'ils se relevèrent, ils étaient étourdis et se plaignaient de brûlures sur les parties libres du corps. Des vents venant à quelque distance ressentirent une violente poussée d'air, qui projeta même l'un d'eux qu'il conduisait.

Remarques particulières. — La lampisterie occupait un emplacement défectueux, car il faut la faire installer plus près du puits d'entrée de l'air, ou tout au moins en amont l'air des travaux de la 13^e couche rejoint le courant d'air.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Des instructions ont été immédiatement aux exploitants pour les inviter à placer la station de ralliement en un lieu plus sûr.

STATISTIQUE DES
A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

11. — Concession de

(Instituée par décret)

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	N O M B R E d'ouvriers		O U V R I E R S au fond. 6	P R O D U C T I O N annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
237	1860 12 Mai	Puits Saint- Claude.	"	2 Brûlés.	163	Tonnes 34.027	Arrêt du ven- tilateur, pendant une heure environ, au moment du déjeuner.	Lampe à feu nu.	Imprudence de l'une des victimes qui avait pénétré dans son chantier avec une lampe à feu nu, malgré la défense du gou- verneur.
238	1869 8 Juin	Id.	"	1 Brûlé assez griève- ment.	205	26.333	Suspension du travail pendant une heure dans une galerie de re- cherche en cul de sac, aérée norma- lement au moyen d'un ventilateur.	Id.	Négligence de l'entrepreneur, qui n'avait pas visité le chantier avant d'y placer les ouvriers.
239	1873 29 Avril	Id.	"	1 Brûlé assez griève- ment.	?	?	vide produit par un petit éboule- ment dans la paroi d'une galerie de roulage où pas- sait cependant le courant d'air.	Id.	"

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

Comberigol (ou Combe-Migelle).

du 3 Octobre 1888.

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage se faisait au moyen d'un ventilateur.

Le travail ordinaire aux avancements et dans les chantiers se faisait avec des lampes de sûreté ; dans les galeries on se servait de lampes à feu nu. Il était défendu aux ouvriers qui travaillaient dans les chantiers d'y aller avec des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier avait fini son repas; il voulut pénétrer dans le chantier avant que la ventilation, interrompue pendant l'heure des repas fût rétablie. À peine y était-il parvenu, une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla, ainsi qu'un de ses camarades qui l'avait suivi. L'explosion fut très faible.

Remarques particulières. — Le chantier, où a eu lieu l'accident, était situé à la partie des travaux ; la ventilation en était insuffisante ; il devait déboucher très prochainement la galerie en percement en sens inverse, destinée à améliorer l'aérage.

Indications générales. — On exécutait à l'entreprise un travail de recherche du côté de l'Est de la concession.

Le grisou était peu abondant ; on se servait de lampes à feu nu à l'avancement, mais seule visite préalable faite avec une lampe de sûreté après chaque interruption de travail.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers et un entrepreneur se rendaient à leur travail dans un chantier que le poste précédent avait quitté depuis une heure. Ce chantier était à l'extrémité d'une galerie de recherches dont le front de taille était à 90^m du courant d'air et dont les 20 derniers mètres se trouvaient dans la couche. L'un des ouvriers précédait les autres d'une vingtaine de mètres ; il portait une lampe à feu nu ; arrivé à 7^m du front de taille, il occasionna une légère explosion de gaz qui eut pour résultat de brûler grièvement.

Remarques particulières. — Le chantier où a eu lieu l'accident était aéré au moyen d'un placard placé dans le courant d'air et de caisses arrivant à 4^m du front de taille.

L'entrepreneur était tenu de visiter les chantiers après chaque interruption de travail ; cette visite n'avait pas été faite le jour de l'accident.

Indications générales. — Un volume d'air assez abondant arrivait de la concession du Sud dans le quartier où l'accident s'est produit ; mais les rouleurs laissaient souvent ouverte la porte d'aérage et le courant d'air n'était pas toujours très vif dans la galerie de roulage.

Dans les chantiers en cui-de-sec, on employait des lampes Molesler, et dans les galeries de roulage des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers munis de lampes à feu nu travaillaient dans un chantier où un petit écoulement de charbon avait produit dans la paroi d'une galerie de roulage où passait d'air. Au moment où l'un d'eux élevait sa lampe, une faible détonation eut lieu ; cet ouvrier fut brûlé assez grièvement ; son camarade, au contraire, resté sur le sol de la galerie ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — Le grisou ne s'était jamais montré dans la région de l'accident.

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

11. — Concession de

N ^{os} d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
						Tonnes			
240	1877 19 Avril	Puits Saint- Claude.	"	1 Brûlé assez griève- ment.	179	33.083	Ghûte d'un peu de charbon dans une galerie où passait cependant l'une des branches du courant d'air.	Lampe à feu nu.	"

12. — Concession

(Instituées par décret

241	1842 13 Août	Puits Gagne Petit. — 3 ^{me} couche.	"	2 Brûlés.	203	Tonnes 73.097	Suspension du travail dans un chantier suspect.	Lampe à feu nu.	Imprudence de l'une des victimes qui avait pénétré dans son chantier avec une lampe à feu nu, malgré la défense qui en avait été faite.
242	1848 20 Sep- tembre	Puits Ber- trand.	1 Brûlé.	2 Brûlés griève- ment.	405	124.310	Remontée en cul de sac, aérée à l'aide d'un ven- tilateur.	Id.	Imprudence de l'une des victimes qui avait accroché sa lampe à feu nu près de l'entrée d'une rampe griseuse que l'on était en train

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

2. — Département de la Loire.

Combarigol (ou Combe-Bigole) (suite).

OBSERVATIONS.

11

Mesures prises à la suite de l'accident. — La Direction a prescrit l'emploi exclusif du Mulseler.

Indications générales. — Le grisou ne se montrait dans la mine que dans les aérés, les chargeurs n'étaient munis de lampes de sûreté que lorsque la présence du grisou était reconnue dans les chantiers ou ils devaient pénétrer.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier travaillait dans un niveau où passait l'air du courant d'air; il élevait la galerie en abattant au toit une tranche de charbon de 8 m. Cet ouvrier était muni d'une lampe Mulseler, mais son chargeur avait une lampe à feu nu; il fit tomber, un peu de charbon; cette chute occasionna un petit dégagement d'air, s'enflamma à la lampe à feu nu que le chargeur avait accrochée à un cadre, à 1 m. plus haut; le piqueur fut brûlé assez grièvement, tandis que le chargeur qui se trouvait à 3 m. 50 de lui ne fut pas atteint.

Mesures prises à la suite de l'accident. — A la suite de cet accident, les exploitants ont prescrit l'emploi des lampes à feu nu dans les travaux.

de Terrenoire.

du 30 Mars 1784).

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se rendait à son travail; en pénétrant dans une petite quantité de grisou s'enflamma sur sa lampe à feu nu et le brûla ainsi qu'un de ses doigts.

Remarques particulières. — Il était expressément défendu aux ouvriers d'entrer dans la mine sans être munis de lampes de sûreté.

Indications générales. — L'aérage général était très satisfaisant; l'air entrant par le puits Bertrand et sortait par le puits Bertrand.

Dans les remontées du puits Bertrand le gaz s'accumulait en assez grande quantité; les galeries de roulage fussent bien aérées, on était obligé de se servir de ventilateurs à bras pour les remontées. Les ouvriers travaillant dans les chantiers étaient munis de lampes Mulseler, travaillant dans les galeries de roulage, avaient des lampes à feu nu. Le charbon était poussé jusqu'aux galeries de roulage, et les rouleurs ne pénétraient pas dans les chantiers.

Circonstances de l'accident. — Un piqueur, avant d'entrer dans son chantier

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Terrenoire (suite).

OBSERVATIONS.

41

À l'entrée d'une remonte; pendant ce temps un enfant tournait le ventilateur accumulé dans cette galerie. Au même instant arrivait un charbon de ce chantier; 5 mètres environ avant d'arriver au bas de la remonte, à feu nu aux parois de la galerie. Le grisou, chassé par le ventilateur poussé par le courant d'air dans la direction de la lampe, s'enflamma; ouvriers; l'un d'eux (le jeune enfant) mourut des suites de ses brûlures.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Tous les ouvriers en lampes de sûreté.

Circonstances de l'accident. — Un ouvrier se rendait à son travail son chantier qu'une petite quantité de grisou s'enflamma sur la lampe à ainsi qu'un de ses camarades qui se trouvait à peu de distance.

Remarques particulières. — Il était formellement interdit aux lampes à feu nu dans le chantier où a eu lieu l'accident.

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement entre le Le volume d'air était suffisant; mais le courant d'air, mal dirigé, pour et ses diverses branches pouvaient se contrarier.

La couche du Bon-Menu était depuis longtemps reconnue dangereuse de sûreté. Les travaux consistaient en un travers-bancs suivi d'un plan à niveaux reliés par des montages.

Circonstances de l'accident. — Une explosion de grisou dont le lieu immédiates sont restées inconnues, brûla ou asphyxia les 15 ouvriers tri

La présence de l'acide carbonique et les éboulements ralentirent le son retira 3 cadavres et 6 blessés dont 2 succombèrent des suites de leurs brû

Remarques particulières. — Une galerie en cul-de-sac, de 15^m de diffusion; un montage en percement, de 15^m de longueur, était aéré au m à 10^m du courant d'air, ne faisait que brasser l'air et le grisou que ce n

Depuis plusieurs jours les ouvriers signalaient la présence d'une aucune précaution nouvelle n'avait été prise.

Le jour de l'accident, le temps était très orageux.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

1. — Département de la Loire

de Terrenoire-(suite).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — Les travaux du puits Hippolyte étaient abandonnés depuis plusieurs mois, à cause des incendies qui s'y étaient déclarés. Dans la crainte de rallumer les feux, on ne tirait dans la mine qu'une petite quantité d'air, et d'une manière intermittente.

Circonstances de l'accident. — Le Directeur et l'Ingénieur, après avoir visité une partie abandonnée depuis 2 mois sans trouver de traces de feu, avaient fait descendre les ouvriers pour construire un barrage dans le niveau de fond. Ce barrage ne présentant pas toutes les garanties désirables, on en construisait un second à 3^m 50 en avant, en y ménageant une petite doubleur intérieurement en briques. Le jour de l'accident, on faisait dans les parois de la mine les entailles nécessaires pour établir ce doublage.

Le grisou se montrant entre les deux barrages on avait recommandé aux ouvriers de tenir le nez au sol. Une explosion s'étant produite, deux des ouvriers travaillant au barrage A le troisième, placé à quelques mètres en arrière, fut grièvement blessé; on retira immédiatement les victimes et on abandonna les travaux.

Les circonstances mêmes de l'accident sont restées inconnues.

Remarques particulières. — L'intervalle compris entre les deux barrages qu'on était allé aérer que par diffusion. On n'a pu savoir si l'explosion s'était produite entre les deux barrages ou si elle était venue de l'intérieur de la mine. D'autre part le sens dans lequel les barrages renversés n'était même pas connu avec certitude. Les lampes avaient été laissées sur les lieux.

La visite de la mine n'avait été faite qu'en partie avant la construction des barrages. L'absence d'air a pu déterminer la formation d'un mélange explosif en un point où le feu existait et rallumer l'incendie en un autre point.

Indications générales. — On commençait l'exploitation du niveau de 314^m vers le N. Le niveau, long de 100^m chacun environ et relié par des remontées aux extrémités, formait un circuit fermé.

L'air descendait par la colonne du puits jusqu'à la recette inférieure de 314^m, parcourait le niveau, et revenait par le niveau supérieur à la recette supérieure du puits à 317^m, d'où il était tiré par deux gaines en haut du puits. L'aspiration était produite dans l'une de ces gaines par un moteur Duvorgier de 4 chevaux et dans l'autre par un jet de vapeur. Le courant d'air donnait 100^m par seconde.

Circonstances de l'accident. — Le niveau inférieur avait atteint à 100^m du puits, une galerie, à 60^m, un travers-bancs pour recouper la couche de l'autre côté. Il avait recouper la couche relevée à 20^m de distance et l'on suivait cette couche au delà, par une galerie d'air qui avait atteint 10^m de longueur.

Le travers-bancs conduisant à la couche relevée était aéré par un ventilateur aspirant, de l'aspiration prenait au front de taille, et dont la gaine de refoulement débouchait dans la galerie d'air.

Plusieurs ouvriers étaient depuis une demi-heure environ à leur travail; l'un d'eux avait une lampe Davy près du tuyau de refoulement. Le mélange gazeux sortant de ce tuyau se dirigeant vers le treillis de la lampe, l'ouvrier voulut l'éteindre; mais il le fit si maladroitement que la flamme et détermina une forte explosion qui le brûla instantanément ainsi que trois de ses camarades. L'ouvrier fut brûlé grièvement.

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Terre-noire (suite).

OBSERVATIONS.

11

Quelques éboulements se produisirent dans le niveau inférieur et s'étendirent pas très loin dans le niveau, mais elles envahirent :

Remarques particulières. — Le ventilateur avait été arrêté des deux postes. Il venait d'être remis en fonctions depuis une

Indications générales. — L'aérage se faisait naturellement Gagne-Petit ou Saint-François. La branche du courant d'air qui la couche principale et la petite couche.

Circonstances de l'accident. — Une remontée en percement de longueur; 3 ouvriers travaillant à son avancement venaient d'en ouvrir sa lampe Mulseler, détermina l'explosion d'une petite partie supérieure de la remontée. Les trois ouvriers furent brûlés.

Remarques particulières. — La ventilation était suffisante remontée.

La clef qui avait servi à ouvrir la lampe, cause de l'explosion, après l'accident; elle avait été confiée précédemment à l'ouvrier quelque temps; il avait prétendu l'avoir égarée, lorsque le sous-

Indications générales. — L'aérage général se faisait naturellement Saint-François. Le courant d'air général était assez actif; il était l'un au Nord (région du Treuil), l'autre au Centre, et le troisième

Le volume d'air était insuffisant, il n'était que de 8 à 11 extraction journalière de 410 tonnes.

La distribution de l'air était défectueuse en certains points, et la grande partie n'était aérée que par diffusion. Le courant d'air n'était de l'exploitation et aussi près que possible des fronts de taille. L et la voie servant de retour d'air pour les 2/3 de la mine, était basse.

Des niveaux entiers étaient en dehors du courant d'air et n'étaient traversés par les portes d'aérage.

Dans les remontées, on chassait le grisou avec de petits vents abondants, on y adjoignait des ventilateurs soufflants, qui prenaient vicié par un long circuit.

Dans la région du Nord et dans celle du Centre, il y avait de nombreuses remblayées, ces incendies étaient circonscrits par des barrages.

Le champ d'exploitation était très étendu: 300^m au Nord et 300^m la petite couche en tirage et la grande couche en partie remblayée; deux niveaux en descente; l'air passait d'abord par les travaux 1^{er} et 2^{es} niveaux de la grande couche. Le quartier du Centre était les 3^{es} et 4^{es} niveaux étaient en tirage. L'air du quartier Nord pour se rendre au puits de sortie d'air. Le quartier du Sud était communiquait avec les précédents que par un faux puits et une

A. — MINES DE HOUILLE.

1. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

22. — Concession

1 N ^o . d'ordre.	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		6 Ouvriers au fond.	7 PRODUCTION annuelle de la mine. Tonnes	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			4 Tués.	5 Blessés.			Causes directes		10 Causes indirectes.
							8 de l'accumulation du gaz.	9 de l'inflam- mation du gaz.	
249	1875 3 Oc- tobre	Puits Jabin.	0	0	506	181.682	Soufflards ou- verts par un coup de mine à la suite d'une galerie au charbon et à la rencontre d'une faille.	Flamme d'un coup de mine.	

ACCIDENTS DE GRISOU.

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

1. — Département de la Loire.

de Beaumont (suite).

OBSERVATIONS.

11

Le quartier du Nord et le quartier du Centre donnaient beaucoup de gaz, surtout le premier. Sud n'en donnait presque pas, et le grisou y avait été rarement signalé; une grande faille décaler du précédent.

Circonstances de l'accident. — On exploitait au puits Jabin la grande couche du Tre petite couche considérée comme une dépendance de la première. Une explosion de grisou eut dans les travaux, embrassant une étendue considérable: toute la région du Treuil du Nord centrale. La région Richelandière au Sud ne fut préservée que parce que le grisou y était peu. La commotion fut ressentie au jour; une colonne de fumée épaisse sortit du puits Sain servant au retour de l'air, et une benne vide qui se trouvait dans ce puits, fut projetée jusqu'au

À la minute de l'accident, 92 ouvriers seulement se trouvaient dans la mine; on ne put pénétrer dans les travaux qu'au bout de deux heures et on retrouva 22 ouvriers vivants, appartenant tous au Sud de la Richelandière.

Onze ouvriers, qui auraient pu être sauvés s'ils eussent remonté le courant d'air, s'étaient par erreur vers le puits de sortie d'air, d'où l'on n'a pu les retirer de suite, et au pied duquel ils moururent asphyxiés par l'oxyde de carbone; quand on les retrouva, leurs lampes brûlaient encore à

Par suite des nombreux éboulements qu'il fallut relever, les derniers cadavres ne purent être retirés que 62 jours après l'accident.

Remarques particulières. — Des croûtes de coke étaient déposées sur les bois dans parties mal aérées, dans les remontées en pénétrant ou les régions en dehors du courant; pouvaient servir de réservoirs au grisou; dans les galeries, ces croûtes se trouvaient sur les des bois, ce qui a fait penser que les flammes y avaient stationné, allant et revenant sans cesse dans les chantiers en cul-de-sac, les dépôts n'existaient que sur les faces tournées vers la taille, et indiquaient des explosions locales parties de ces fronts.

Il y a eu deux centres d'explosion, probablement allumés l'un par l'autre. Les flammes ont part jusqu'au puits Jabin, c'est à dire à 200^m au moins de distance en remontant le courant l'autre au puits Saint-François et à l'entrée de la région Sud, à plus de 250^m du foyer.

Le point de départ de l'explosion n'a pu être déterminé avec certitude; mais il est à peu près que l'accident est dû à l'ouverture d'une lampe de sûreté. Les lampes étaient du type Muter qui ont été retrouvées, 8 étaient ouvertes, 45 n'avaient ni cheminée ni diaphragme et 17 n'avaient pas de clef.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les exploitants ont été invités à arrêter tout travail et à interdire provisoirement tout travail dans les niveaux supérieurs ou niveaux de sûreté d'

Circonstances de l'accident. — Un coup de mine ayant mis à découvert trois soufflard d'une galerie au charbon et à la rencontre d'une petite faille, le gaz sortant de ces s'enflamma sans explosion. Le charbon du front de taille, qui avait commencé à brûler, fut difficile. Il n'y eut personne d'atteint.

Remarques particulières. — Le chef de poste avait visité le chantier avant l'allumage mine; il avait constaté l'absence du grisou entre les chapeaux des cadres.

1000

2. — GROUPE DE LA LOIRE.

a. — Département de la Loire.

de Terre-noire (suite).

OBSERVATIONS.

11

Le point de départ de l'explosion a dû être la région du Treuil, la seule partie de la mine d'où les flammes paraissaient être sorties en deux sens opposés.

Quant aux causes de l'accident, elles sont restées inconnues : les percements étaient généralement conduits en niveau ou en descente ; il n'y avait que trois chantiers en remonte, de très faible longueur, dans la région du Treuil et un dans la région centrale. Les lampes Muëseler employées ne pouvaient s'ouvrir qu'avec un électro-aimant ; elles étaient l'objet d'une surveillance très rigoureuse et rien n'indiquait avant l'accident que les ouvriers fussent parvenus à les ouvrir ; toutes celles qui ont été retrouvées étaient fermées. Le tirage à la poudre n'était permis que dans les galeries au rocher ; les coups étaient allumés par le sous-gouverneur ; cette dernière prescription n'était pas toujours suivie, il est vrai, mais il n'y avait pas alors de travail au rocher dans la région du Treuil.

L'hypothèse la moins invraisemblable serait qu'un ouvrier eût allumé du feu pour fumer.

Il ne serait pas impossible non plus que l'incendie reconnu le lendemain de l'accident fut, de fait, antérieur à l'explosion et qu'il eût occasionné cette dernière ; des incendies spontanés s'étaient déjà produits plusieurs fois dans la Grande-Couche.

La propagation des flammes dans la mine entière et particulièrement dans la région non grisouteuse de la Richelandière, a été considérée comme résultant, d'une part de la nature sèche et poussiéreuse de la mine, d'autre part d'une forte dépression barométrique constatée le jour de l'accident, qui aurait fait sortir une quantité notable de grisou des vieux travaux de la Richelandière, alors en grande partie défilée et plus ou moins bien remblayée.

Indications générales. — L'air entraît par une fendue et sortait par le puits d'Avaise ; le courant était descendant dans une partie des travaux ; toutefois l'aérage était suffisant.

Au puits d'Avaise, le grisou ne s'était encore montré qu'une seule fois et en faible quantité dans un chantier en remonte, pendant le traçage des derniers lambaux de la couche. Le sous-gouverneur visitait les chantiers avant l'arrivée des ouvriers.

Circonstances de l'accident. — A côté d'une remontée par laquelle descendait l'une des branches du courant d'air, on perceait une deuxième remontée contigüe à la première que l'on remblayait au fur et à mesure de l'avancement. Deux ouvriers occupés à ce travail arrivaient à leur chantier avec des lampes à feu nu, lorsque l'un d'eux, parvenu à 2^m50 environ du front de taille, détermina l'inflammation d'une petite quantité de grisou et fut légèrement brûlé ; l'autre ouvrier, qui se trouvait à quelques mètres en arrière, vit la flamme, mais ne fut pas atteint.

Remarques particulières. — Le sous-gouverneur n'avait pas encore fait la visite du chantier où l'accident s'est produit, quand les ouvriers étaient arrivés à leur travail ; il ne l'eût d'ailleurs visité qu'avec une lampe à feu nu, ce chantier se trouvant dans le courant d'air.

Cet accident montre la nécessité de visiter avec une lampe de sûreté tous les chantiers, même ceux où passe le courant d'air, lorsque le grisou est à craindre dans une région.

(La suite à une prochaine livraison).

NOTE
SUR LE COMPENSATEUR
SYSTÈME DUJOUR

POUR ASSURER LA MANŒUVRE DES SIGNAUX A GRANDE DISTANCE
EN CAS DE RUPTURE DU FIL DE LA TRANSMISSION

Par M. SCHLEMMER, inspecteur général des ponts et chaussées.

On a reconnu que, pour assurer la manœuvre des signaux placés à grande distance des points qu'ils doivent protéger, l'appareil destiné à annuler les effets de la température sur la longueur du fil de la transmission du mouvement devait être placé entre le levier de manœuvre et le signal.

Pour ce motif on a été obligé de renoncer au système de compensateur qui se plaçait en arrière du levier de manœuvre, à l'origine de la transmission, et qui a été longtemps exclusivement employé à la compagnie de Lyon.

Le compensateur intermédiaire placé entre le levier et le signal, fonctionne comme appareil de relai, c'est-à-dire que, à chaque manœuvre du levier, il fait marcher en sens opposés les deux parties du fil de la transmission séparées l'une de l'autre par cet appareil.

Il existe deux systèmes de compensateurs intermédiaires : le système Robert, employé par les compagnies du Nord, de l'Ouest et du Midi, et le compensateur Dujour, employé par la compagnie de Lyon.

L'un et l'autre ont été disposés de manière que, s'il y a rupture du fil, elle se produise entre le compensateur et le signal, ou entre le levier de manœuvre et le compensateur : le signal se met alors à l'arrêt immédiatement.

Le compensateur Robert se place au milieu de la longueur de la transmission, et le contrepoids de tension du fil monte ou descend entre deux poteaux élevés au-dessus du sol, suivant les variations de la température. A longueur de transmission égale, il faut le même effort pour la manœuvre du signal que dans le cas du compensateur placé à l'origine.

Le compensateur Dujour se compose de poulies sur lesquelles s'enroule ou se déroule le fil de la transmission du signal, suivant les variations de la température. Les fils restent à peu de distance du sol, à la hauteur qui leur est donnée ordinairement dans la pose de la transmission.

Il se place en général aux deux tiers de la longueur de la transmission, afin de réduire au minimum l'effort à exercer au levier de manœuvre, pour faire tourner le signal de 90 degrés (*).

Voici une description sommaire de l'appareil compensateur, système Dujour :

Il se compose (voir *fig. 13, 14 et 15, Pl. V*), de deux poulies de diamètre inégal.

La grande poulie porte deux gorges : sur l'une passe le fil qui vient du levier de manœuvre ; sur l'autre, la chaîne qui porte le contrepoids de relais et de compensation. La

(*) On trouvera dans la *Revue générale des chemins de fer*, novembre 1880, une note détaillée de M. Jules Michel, ingénieur des ponts et chaussées, contenant un examen analytique du fonctionnement des fils de disques, des résistances diverses qu'ils ont à surmonter, un exposé des considérations qui lui ont fait placer le compensateur aux deux tiers de la longueur de la transmission, et le calcul de la diminution qui en résulte dans l'effort au levier de manœuvre.

chaîne passe en outre sur une poulie placée au-dessus afin d'éviter les puits en usage sur la compagnie du Nord, aussi bien que le relèvement de l'appareil admis par la compagnie de l'Ouest pour les compensateurs Robert. Le contrepoids est plus ou moins chargé suivant la longueur de la transmission et suivant les résistances qu'il doit vaincre.

La petite poulie reçoit le fil qui va au disque. Elle pourrait n'avoir qu'une gorge d'un rayon moitié moindre que celui de la grande poulie, mais on lui a donné deux gorges de rayons légèrement différents pour permettre de faire varier, dans une certaine limite, l'emplacement du compensateur sur la transmission, et pour éviter ainsi des obstacles tels que des ouvrages d'art ou des tranchées étroites qui en rendraient la pose difficile. Le diamètre de la grande poulie étant 0^m,300 on a donné 0^m,140 et 0^m,160 aux deux gorges de la petite poulie.

Avec l'appareil de relais tel qu'on vient de le décrire, où les fils ont des mouvements inverses, le rappel met le disque à l'arrêt lorsque la transmission est tendue entre le levier de manœuvre et le compensateur; elle est alors détendue entre le compensateur et le disque. Le disque s'efface par le mouvement inverse.

Une rupture équivalant à une détente du fil, le disque se mettra donc à l'arrêt de lui-même si elle se produit dans la seconde partie de la transmission. Au contraire, si la rupture a lieu dans la première partie, le disque devrait s'effacer.

Pour remédier à cet inconvénient, M. Dujour, inspecteur principal, chef du bureau des études à la compagnie du chemin de fer de Lyon, a imaginé une disposition ingénieuse. La petite poulie C, au lieu d'être calée sur l'arbre qui porte la grande poulie B, est fêlée sur cet arbre. Elle est rendue solidaire du système au moyen d'un levier E ou crochet à branches inégales, mobile sur un tourillon

fixé à la grande poulie. La branche la plus courte H s'appuie sur un taquet I, venu de fonte avec la petite poulie, et l'entraîne dans son mouvement. A l'extrémité F' de la plus longue branche est attaché le fil commandé par le levier de manœuvre.

Lorsque le fil vient à se rompre, le crochet, devenu libre, n'agit plus sur la petite poulie, qui cède sous l'action du contrepoids de rappel du disque. Celui-ci tombe en ramenant le disque à l'arrêt, comme si la rupture avait eu lieu entre le disque et le compensateur.

Il n'est pas inutile de signaler la nécessité de disposer d'une grande course au levier de manœuvre d'une transmission munie du compensateur Dujour, surtout quand le disque est à grande distance. Aussi, la compagnie de Lyon a fait exécuter des leviers à secteur elliptique, qui donnent jusqu'à 1 mètre d'amplitude entre les deux positions extrêmes (voir *fig. 16*). Avec le compensateur intermédiaire, une course insuffisante peut avoir des inconvénients sérieux ; au contraire, si la transmission est bien réglée, un excès de course au levier de manœuvre n'a jamais d'inconvénient.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES FIGURES.

[Planche V.

Fig. 13. Élévation de l'appareil, montrant la disposition des poulies, des fils de transmission et du contrepoids destiné à faire basculer le crochet E en cas de rupture du fil de manœuvre.

132 NOTE SUR LE COMPENSATEUR SYSTÈME DUJOUR.

Fig. 14. Vue de face du même appareil.

Fig 15. Détail des poulies montrant la disposition du crochet E, à la plus longue branche duquel s'attachent le fil de manœuvre en F, et le fil du contre-poids, et dont la plus courte branche H entraîne, en s'appuyant sur le taquet I, la poulie C à laquelle est attaché le fil de transmission.

Fig. 16. Levier de manœuvre à secteur elliptique.

BULLETIN DES TRAVAUX DE C

EXÉCUTÉS EN 1881

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES
DANS LES LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX

I.— LABORATOIRE DE CLERMONT-FERR

Travaux de M. de BÉCHEVEL, ingénieur des mines (E)

1° *Minerai de zinc et de plomb argentifère* recueilli d'Aurouze (Haute-Loire), quartier de la Salzède.

Ce genre de minerai se distingue nettement du ordinaire des filons d'Aurouze; il renferme une proportion de blende, et présente une structure cavernueuse. La gangue est quartzueuse et barytique, mais le quartz sur la baryte, contrairement à ce qui a lieu dans les filons.

Le minerai s'altère assez promptement à l'air, devenant noirâtre.

Un premier enrichissement de la prise d'essai a été fait par broyage et tamisage.

La gangue, plus dure que les parties métalliques, a été séparée, pour majeure partie, en fragments, tandis que les parties métalliques ont traversé le tamis; 82 grammes de minerai brut ont donné 24^{gr.} de minerai fin, sur lequel a porté l'analyse, la gangue, où il ne restait qu'une proportion insignifiante de métal.

Composition centésimale :

Gangue insoluble (quartz et sulfate de baryte) . . .	41,50
Soufre	16,215
Fer (à l'état métallique)	2,22
Plomb	4,72
Zinc	81,08
Cuivre	traces.
Antimoine, arsenic	traces.

En considérant le fer comme se trouvant à l'état de carbonate, et le plomb et le zinc à l'état de sulfures, on obtient le tableau suivant :

Gangue insoluble	41,50
Sulfure de plomb	5,45
Carbonate de fer	14,60
Blende	46,80
Sulfures de cuivre, d'antimoine, d'arsenic, et matières non dosées	2,15

2° Remplissage filonien d'Aurouze. — Le remplissage dont il s'agit se trouve au milieu d'un filon barytique, où la Société des mines d'Aurouze a fait, dans le cours de l'année 1881, des travaux de recherche assez importants.

Le filon présente une largeur sensiblement constante, et c'est dans la partie moyenne, sur les parois d'une fissure incomplètement incrustée, que s'est formé le dépôt noirâtre soumis à l'analyse. Ce dépôt ne pouvant être facilement détaché du sulfate de baryte sur lequel il repose, nous avons pris comme échantillon d'analyse un fragment de roche, qui a été broyé avec soin, de manière à fournir un mélange homogène.

L'échantillon ne renferme ni plomb, ni cuivre, ni antimoine en quantités appréciables.

Gangue insoluble. 91,40	{	BaO. SO ₃ . 62,98	} 100,51
		Quartz . . 27,42	
Fe ² O ₃		2,28	
FeO. CO ₂		6,88	

LABORATOIRE DE CLERMONT-FERRAND.

3° Antimoine sulfuré. — Échantillon provenant de la
la Licoulne (Haute-Loire).

Composition centésimale

Gangue insoluble (BaO, SO ³ et quartz).	31,8
Fer	2,2
Plomb	3,0
Cuivre	tracé
Antimoine (par différence).	41,2
Soufre.	18,6

De ces résultats on peut déduire le tableau suivant :

Gangue insoluble (BaO, SO ³ et SiO ²)	31,8
Sulfure de fer.	6,4
Gallène.	1,2
Sulfure d'antimoine	63,4
	100,0

II. — LABORATOIRE DU MANS.

Travaux de M. LODIN, ingénieur des mines.

§ 1^{er}. — ENGRAIS.

Les analyses d'engrais constituent la partie la plus importante des travaux du laboratoire du Mans; elles ont été en nombre de 53. Les engrais analysés sont pour la plupart des guanos et des superphosphates; le laboratoire a reçu également un certain nombre d'échantillons de sulfate d'ammoniaque, d'engrais chimiques complexes sans désignation précise. Dans les échantillons présentés, on a déterminé la perte par dessiccation à 110°, l'azote, l'acide phosphorique des phosphates solubles, le citrate d'ammoniaque, enfin l'acide phosphorique total; l'analyse de la potasse n'a été faite que lorsque l'on a eu des

spéciales de soupçonner la présence de cette substance. Le tableau de tous les résultats obtenus ne présente aucun intérêt général; nous nous bornerons à présenter quelques observations sur les méthodes employées et sur les particularités présentées par certaines analyses.

1° *Dosage de la potasse.* — Le procédé suivi est celui de Sérullas, modifié par M. Schloësing; il est d'une application sûre et assez rapide et n'a donné lieu à aucune difficulté.

2° *Dosage de l'azote.* — Dans un certain nombre de cas, on a dosé à part l'azote ammoniacal et l'azote organique, en faisant dégager à froid l'ammoniaque par l'addition d'un excès de potasse caustique, suivant la méthode indiquée par M. Schloësing, et dosant ensuite dans le résidu, par calcination avec la chaux sodée, l'azote des matières organiques. Quand l'ammoniaque libre était en faible proportion, on a appliqué immédiatement le deuxième procédé, en ayant soin d'opérer rapidement le mélange.

Une détermination contestée nous a donné l'occasion de constater le peu d'homogénéité de certains engrais, de composition bien définie cependant en apparence. Un échantillon de sulfate d'ammoniaque avait donné une discordance considérable (16,40 p. 100 au lieu de 19,09) avec la teneur indiquée par le vendeur, d'après une analyse de M. Maret, chimiste à Paris. Le dosage d'azote fut refait et donna des résultats concordants à 0,1 p. 100 près avec le premier résultat obtenu; nous fîmes alors l'analyse complète de l'échantillon que nous avions reçu et de celui que M. Maret nous avait communiqué. Ces deux analyses donnèrent les résultats suivants :

	Échantillon primitif.	Échantillon de M. Maret.
Acide sulfurique (SO_3)	60,49	57,48
Ammoniaque (Az H_3).. . . .	19,92	22,96
Eau combinée (calculée).	18,61	12,68
Eau hygrométrique	0,92	4,19
Protoxyde de fer.	0,49	1,25
Résidu insoluble	8,20	1,08
	<hr/>	<hr/>
	98,68	99,59
Azote	16,40	18,91

La comparaison de ces deux résultats prouve que l'un ou l'autre des deux prises d'essai était défectueuse. Le premier échantillon contenait une quantité assez considérable d'acide sulfurique libre ; tous les deux renfermaient du fer en proportion notable.

3° *Dosage de l'acide phosphorique.* — De nombreux essais ont été faits pour apprécier l'exactitude des diverses méthodes proposées jusqu'ici pour doser l'acide phosphorique ; sans en donner les résultats numériques, nous résumerons rapidement les conclusions auxquelles nous avons été conduit jusqu'ici.

Le procédé indiqué par M. Boussingault et modifié par Rivot, c'est-à-dire le traitement par l'acide sulfurique et l'alcool, ou sans addition de sulfate d'ammoniaque, exige trop de temps et de soins pour convenir au travail courant d'un laboratoire, car il doit faire un grand nombre de dosages d'acide phosphorique.

L'emploi de l'azotate de bismuth exige que la dissolution ne contienne ni sulfate ni chlorure ; il donne de bons résultats en présence des alcalis, de la chaux, de la magnésie et des protoxydes, même en présence de l'alumine, pourvu que l'on emploie un excès suffisant de réactif, mais le sesquioxyde de bismuth empêche complètement la précipitation du phosphate de bismuth.

Il y a là une difficulté qu'on n'a pu vaincre jusqu'ici d'une manière satisfaisante et qui empêche d'employer le procédé pour des essais pratiques.

L'emploi du molybdate d'ammoniaque en présence d'un excès d'acide azotique convient bien à la détermination de quantités très faibles d'acide phosphorique. Nous avons constaté, en effet, que la présence de plomb ou de bismuth dans la dissolution empêche la précipitation du phosphomolybdate ; mais ces métaux ne se rencontrent jamais dans les engrais ni dans les produits industriels contenant de l'acide phosphorique ; d'ailleurs on les séparerait facilement au besoin. Lorsqu'on veut obtenir un dosage exact au moyen du phosphomolybdate d'ammoniaque, il suffit de redissoudre le précipité dans un peu d'ammoniaque et de précipiter dans cette liqueur le phosphate ammoniaco-magnésien.

nous avons appliqué cette méthode toutes les fois qu'il s'est agi de chercher de très faibles quantités d'acide phosphorique ; mais les dosages courants ont été faits par précipitation sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien en liqueur citrique et ammoniacale. Jusqu'à la fin de 1881, on a procédé en pesant le précipité calciné et transformé ainsi en pyrophosphate de magnésie ; alors indispensable de redissoudre le précipité primitif dans l'eau d'acide azotique et de le précipiter de nouveau par l'ammoniaque.

En effet, lorsqu'on opère en présence d'une grande quantité de citrique, on obtient une précipitation incomplète si l'on n'introduit pas dans la liqueur un excès assez considérable de sel magnésien, comme M. Joulie l'avait déjà indiqué et comme nous nous l'avons vérifié par des expériences directes. La précipitation est exacte et complète si l'on ajoute le sel magnésien en grand excès, alors le précipité entraîne de la magnésie dont il faut le passer par une deuxième précipitation. Après cette opération le phosphate ammoniaco-magnésien présente sa composition normale ; mais sa calcination présente néanmoins quelques difficultés, puisqu'il retient toujours un peu d'acide citrique. Aussi, nous, depuis le commencement de 1882, avons adopté purement et simplement le procédé Joulie, se résumant en une précipitation en liqueur citro-ammoniacale, en présence d'un excès de magnésie, redissolution du précipité obtenu et enfin, une fois l'acide phosphorique séparé de sesquioxydes, précipitation par une solution titrée d'urane en liqueur faiblement acétique. Cette méthode est rapide et donne des résultats fort exacts ; elle rend le dosage pour des bases à peu près impossible, mais c'est là un point de peu d'importance lorsqu'il s'agit de l'analyse des engrais.

Le procédé de M. Joulie comprend également la détermination de la solubilité relative des divers phosphates au moyen d'une solution de citrate d'ammoniaque ammoniacal, employée dans des conditions constantes et bien définies. Ce mode d'évaluation du degré d'assimilabilité de l'acide phosphorique contenu dans les engrais est purement empirique et il serait nécessaire de faire des

expériences agricoles directes pour en contrôler la valeur. Des faits nombreux sembleraient indiquer que l'acide phosphorique insoluble dans le citrate d'ammoniaque ne donne pas des résultats agricoles notablement inférieurs à ceux donnés par le phosphate soluble; des expériences de M. Petermann et de MM. Albert et Wagner viennent à l'appui de cette opinion. Actuellement l'emploi du citrate d'ammoniaque est tellement répandu dans la pratique qu'on ne peut s'en dispenser; il risque cependant de donner lieu à des difficultés analogues à celles qu'avait soulevées autrefois la solubilité dans l'eau pure comme terme de comparaison. La rétrogradation paraît se produire dans un cas comme dans l'autre, bien qu'avec une moindre intensité, et elle peut avoir parfois une assez grande importance comme nous avons eu l'occasion de le constater dans le cas suivant. Un échantillon, envoyé par M. Hurrau, de Loué-sous-Ballon, donna à l'analyse 7, 1 p. 100 d'acide phosphorique soluble dans le nitrate d'ammoniaque, alors que l'engrais dont il provenait avait été vendu comme devant en contenir 12 à 13 p. 100. Cette discordance considérable nous détermina à faire l'analyse complète de l'échantillon, qui contenait :

Eau	7,58
Argile et quartz	5,40
Acide phosphorique	16,40
Acide sulfurique	33,78
Chaux	22,80
Alumine	8,70
Oxyde de fer	4,17
	<hr/>
	98,63

On peut interpréter de la manière suivante la constitution des superphosphates en question.

Eau	7,38
Acide insoluble	5,40
Sulfate de chaux	55,87
Acide sulfurique libre	4,21
Phosphates de sesquioxides	29,10
Acide phosphorique en excès	0,17
	<hr/>
	98,63

La quantité d'acide sulfurique employée dans la fabrication de ce superphosphate était plus que suffisante puisqu'il reste un excès d'acide après formation de sulfate de chaux et de phosphates de sesquioxides. Cependant la rétrogradation observée prouve qu'il a dû se former, malgré l'excès d'acide, du superphosphate basique de formule $2 \text{PhO}^5, 3 \text{Fe}^2\text{O}^3, 8 \text{HO}$, le seul des phosphates de fer qui soit insoluble dans le citrate d'ammoniaque commercial. Ce fait prouve, comme l'a déjà indiqué (1) M. Millot, qu'il est impossible d'éviter une rétrogradation assez importante lorsqu'on emploie pour la fabrication des superphosphates des matières premières riches en oxyde de fer, comme les nodules des Ardennes ou de l'Auxois. Cette rétrogradation n'a peut être pas de bien grands inconvénients au point de vue agricole, comme nous l'avons dit plus haut, mais elle peut devenir une source de difficultés graves dans le commerce des engrais.

§ 2. — TERRES.

Cinq échantillons de terres ont été envoyés au laboratoire dans le courant de 1881, leur analyse a donné les résultats suivants :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
<i>Composition physique.</i>					
Argile et sable fin	95,62	88,50	44,85	81,00	98,56
Gros sable, graviers, etc. .	4,88	16,50	54,15	19,06	6,56
<i>Composition chimique.</i>					
Humidité	8,92	8,20	7,87	0,80	2,61
Perte par calcination . . .	10,90	9,89	12,42	1,85	5,91
Chaux	9,20	4,00	traces	1,12	0,82
Alumine et oxyde de fer . .	8,80	8,50	2,80	1,68	7,70
Résidu insoluble dans les acides	67,80	74,85	77,05	94,15	88,46
	100,12	100,14	99,84	100,00	100,00

(1) *Annales agronomiques.*

- N° 1. — Échantillon envoyé par M. de Prunelé, propriétaire au Mans.
- N° 2. — Échantillon envoyé par M. Paul Lusa, agriculteur à la Jeulinière, près Bouloire.
- N° 3. — Échantillon envoyé par M. Lebel Delaunay, propriétaire à La Suze.
- N° 4. — Échantillon envoyé par M. Launay, professeur d'agriculture au Mans.
- N° 5. — Échantillon envoyé par M. Derfas, au Mans.

§ 3. — CALCAIRES.

	N° 1	N° 2
Résidu insoluble.	0,80	0,65
Alumine et oxyde de fer.	0,15	0,85
Chaux.	55,50	50,67
Magnésie.	0,75	0,95
Perte par calcination.	44,80	41,88
	101,00	100,65

- N° 1. — Calcaire oolithique très compact employé comme pierre de taille, il provient de Villaines-la-Carelle (Sarthe) et appartient au niveau de la grande oolithe.
- N° 2. — Calcaire cénomane, employé comme marne dans les environs de Beassé (Sarthe).

§ 4. — COMBUSTIBLES.

1° *Combustible anthraciteux*, d'âge probablement rhétien, provenant de Ujbanya, près Orsova (Banat); il présente à peine

quelques symptômes d'agglomération par calcination au creuset né. Son analyse immédiate a donné :

Eau hygrométrique.	1,80
Matières volatiles	13,86
Carbone fixe	74,74
Cendres	10,10
	<hr/>
	100,00
Soufre	0,68
Plomb réduit par 18 ^r	28,90

Une série d'analyses et de dosages de soufre a été faite sur échantillons de combustibles provenant de Brittof (Carniole); résultats ont été indiqués dans une note spéciale. (*Annales des mines*, 1^{er} volume de 1883, p. 209).

Votes sur les procédés de dosage du soufre. — Les procédés usités jusqu'à présent pour doser le soufre dans les combustibles sont assez longs et peu commodes. L'eau régale, le chlorure de potasse en présence de l'acide chlorhydrique n'amènent que très difficilement la destruction complète des matières organiques, chose insensable si l'on veut pouvoir répondre de l'exactitude du dosage du soufre. L'emploi du chlore et de la potasse, recommandé par Berzelius, donne lieu souvent à des difficultés imprévues; ainsi dans le dosage d'un combustible de Brittof (Carniole), la matière ne se dissout intégralement en donnant une liqueur rouge vif et a donné un précipité rouge brun lorsqu'on a saturé la liqueur avec l'acide chlorhydrique; après séparation de cette substance, on n'a obtenu que 0,92 p. 100 de soufre, alors qu'on aurait dû trouver 1,9.

L'emploi de la voie ignée, c'est-à-dire du nitre et de la potasse, est plus rapide et donne des résultats généralement plus certains. Il peut néanmoins conduire parfois à des chiffres trop faibles lorsqu'on fond d'avance la potasse pour éviter les projections; dans ces conditions il peut y avoir volatilisation d'une partie du soufre

avant que la réaction oxydante n'ait commencé. L'échantillon indiqué plus haut ne nous a donné ainsi que 1,68 p. 100 de soufre au lieu de 1,91.

La meilleure manière d'appliquer ce procédé nous paraît être la suivante : on prend un gramme de combustible porphyrisé et 10 grammes de potasse pure, on les place ensemble dans une capsule d'argent et on chauffe lentement celle-ci au bain de sable jusqu'à ce que l'expulsion de l'eau soit complète. On y ajoute alors du nitre par petites quantités ; l'attaque commence avant le rouge sombre et se traduit par un boursofflement très vif. Lorsque l'addition de nouvelles quantités de nitre ne produit plus qu'un boursofflement peu marqué, on place la capsule sur un bec de Bunsen de forme annulaire et on la porte au rouge, après avoir ajouté un excès de nitre. Il se produit une légère déflagration, qui n'est pas assez vive pour amener des projections sensibles ; on amène à l'état de fusion tranquille, on laisse refroidir, on traite par l'eau et on précipite le sulfate de baryte comme à l'ordinaire.

Le procédé, ainsi appliqué, n'est ni long ni difficile, mais il nécessite cependant quelques précautions pour éviter le boursofflement et les projections. Il présente en outre, au point de vue de l'exactitude, les inconvénients inhérents à l'emploi d'un excès considérable de réactifs qu'il est difficile d'obtenir bien exempts de sulfates et d'amener à précipiter le sulfate de baryte en présence d'un grand excès d'alcalis, ce qui est une cause inévitable d'erreur par excès, quelque soin qu'on mette à effectuer la purification du précipité. C'est pourquoi nous préférons de beaucoup le procédé suivant, indiqué en 1874 par Adalbert Eschka (*Österreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*; p. 111).

On pulvérise aussi fin que possible un gramme de combustible, on mélange intimement avec un gramme de magnésie calcinée et 0^{gr},5 de carbonate de soude pur et bien sec; on chauffe le tout sur une lampe à alcool ou sur un bec Bunsen dans un creuset de platine ouvert et incliné de manière que la partie inférieure seule soit portée au rouge. La combustion dure de trois quarts d'heure à une heure, on l'active en remuant de cinq en cinq minutes environ

un fil de platine. Lorsqu'elle est terminée, la matière prend une couleur jaunâtre; on laisse alors refroidir complètement, on verse 0^{gr},5 à 1^{gr} d'azotate d'ammoniaque broyé et on mélange intimement avec une baguette de verre. On met le couvercle en place et on chauffe de nouveau au rouge pendant cinq à dix minutes. On verse la matière refroidie dans un vase à précipité de 25 centimètres cubes environ et on l'arrose avec de l'eau; on lave ce qui a pu rester adhérent au creuset en versant de l'eau sur celui-ci et en chauffant quelques instants. On réunit les eaux de lavage, d'un volume total de 150^{gr} environ, on filtre, on ajoute un faible excès d'acide chlorhydrique et on fait chauffer à l'ébullition; on ajoute alors du chlorure de baryum en faible excès et on lave rapidement le sulfate de baryte, précipité dans une fiole qui ne contient que très peu d'alcalis.

L'emploi d'un creuset de platine, indiqué de préférence par M. Berthelot, a l'inconvénient de donner lieu à une attaque très facile de celui-ci; comme nous avons pu le constater dans un essai fait à blanc, un creuset a perdu ainsi deux centigrammes et les résidus contenaient du platine en proportion notable. On évite cet inconvénient en employant un creuset de porcelaine sur lequel le mélange de magnésie et de carbonate de soude n'a pas d'action notable à la température à laquelle on opère; l'introduction de la silice et d'alumine dans les liqueurs ne crée d'ailleurs aucune difficulté au dosage, puisque ces substances sont déjà présentes dans les cendres du combustible. Nous avons en outre constaté que la magnésie retient toujours un peu d'acide sulfurique, quelque soin qu'on mette à la laver; il serait donc plus sûr et plus rapide de dissoudre toute la matière dans l'acide chlorhydrique. Nous devons enfin faire observer que d'une part la précipitation aussi parfaite que possible de la matière à essayer nécessite une précaution indispensable et que d'autre part, il est nécessaire d'augmenter notablement les proportions de magnésie et de carbonate de soude lorsque la teneur en soufre est trop élevée. En cette réserve, le procédé peut même s'appliquer aux sulfures métalliques; pour étudier les conditions de son emploi nous avons

exécuté une série d'essais en employant d'une part une quantité constante de réactifs, c'est-à-dire 1 gramme de magnésie et 0,50 de carbonate de soude, d'autre part des quantités croissantes de sulfure de cuivre, tenant 21,10 p. 100 de soufre, d'après un dosage à l'eau régale. Les résultats ont été les suivants :

Matière employée	0gr,25	0gr,50	1gr
Sulfate de baryte obtenu	0gr,884	0gr,762	1gr,522
Teneur en soufre correspondante. .	21,16p.100	21,00p.100	20,97p.100

Dans le dernier essai, la proportion du soufre était un peu supérieure à celle qui correspond à la transformation complète du carbonate de soude employé, le procédé n'a pas cependant perdu beaucoup de son exactitude et on peut par conséquent compter sur celle-ci jusqu'à cette limite. Le seul cas où l'application de ce procédé au dosage du soufre contenu dans les sulfures métalliques puisse donner lieu à quelques difficultés est celui où la matière contient un métal donnant des sulfates insolubles, comme le plomb ; on résoudrait probablement la difficulté en faisant bouillir la matière, après grillage, avec un excès de carbonate de soude, mais le procédé perdrait beaucoup de sa rapidité d'exécution et de son exactitude de l'autre puisqu'on serait obligé d'effectuer la précipitation du sulfate de baryte en présence d'une grande quantité d'alcalis.

Avec les combustibles les résultats ont été également très satisfaisants, comme on peut en juger par les exemples suivants :

Charbon de Brittof.

	Nitre et potasse	0gr,50 Procédé Bachka.	0gr,50. Pulv. Clon Impé
Sulfate de baryte obtenu	0gr,678	0gr,880	0gr,82
Teneur en soufre	9,27 p. 100	9,09 p. 100	8,85 p. 100

Anthracite de Genest (Mayenne).

	1 g. Nitre et Potasse.	1 g. Procédé Eschka.
Sulfate de baryte obtenu . . .	0g,247	0g,248
Teneur en soufre	8,40 p. 100	8,42 p. 100

Anthracite de St.-Pierre-la-Gour.

	1 g. Nitre et Potasse	1 g. pulvérisé un peu gros Procédé Eschka.
Sulfate de baryte obtenu . . .	0g,299	0g,276
Teneur en soufre	4,12 p. 100	8,84 p. 100

Dans le cas du charbon anthraciteux de Ujbanya, dont il a été question plus haut, le procédé Eschka et l'emploi de la potasse et du chlore ont donné identiquement le même résultat : 0,68 p. 100.

En résumé le procédé Eschka nous paraît rendre le dosage du soufre dans les combustibles presque aussi rapide qu'une détermination de teneur en cendres, et cela en donnant des résultats fort exacts. Il pourrait également être appliqué au dosage du soufre dans des sulfures métalliques, qui ne contiendraient ni plomb ni bismuth ; la présence de l'antimoine ne serait pas un obstacle à son application, pourvu qu'on eût soin d'ajouter de l'acide tartrique en effectuant la dissolution dans l'eau et l'acide chlorhydrique.

§.5. — MINÉRAIS.

1^{er} *Minerais de fer* brun, lithoïde, assez dur, provenant de Ujbanya, près Orsova (Banat).

Quartz.	82,16
Eau hygrométrique.	1,10
Perte par calcination	2,72
Sesquioxyde de fer ($\text{Fe} = 89,86$ p. 100)	56,93
Sesquioxyde de manganèse.	0,69
Chaux.	3,40
Magnésie.	1,32
Acide sulfurique (Soufre 0,56)	1,40
Acide phosphorique.	néant.
	<hr/>
	99,78

Le manganèse a été dosé par une méthode due à Beilstein, consistant à le précipiter sous forme de peroxyde, en présence d'un grand excès d'acide azotique, en projetant dans la liqueur bouillante des cristaux de chlorate de potasse. Le peroxyde précipité entraîne un peu de fer; on le redissout dans une petite quantité d'acide chlorhydrique, on expulse celui-ci par l'ébullition en présence d'un excès d'acide azotique, et on recommence la précipitation par le chlorate de potasse.

2^e Or natif, provenant probablement d'Haïti.

Or.	84,87
Argent.	11,44
Cuivre.	1,99
Fer	1,47
Quartz avec quelques grains noirs microscopiques.	0,05
	<hr/>
	99,82

Cette matière est en poudre fine, offrant au microscope des surfaces arrondies et couvertes de rainures irrégulières; elle est remarquable par la forte proportion de cuivre et de fer qu'elle contient.

L'analyse a été entreprise par la méthode indiquée par Rivot, mais il a été impossible de dissoudre complètement le sulfure d'or dans le sulfhydrate d'ammoniaque. Nous avons dû filtrer à

basse température et séparer ensuite le cuivre et le fer par l'action de l'acide azotique. La séparation a été complète, car l'or coupellé ensuite n'a donné lieu à aucune coloration cuivreuse de la coupelle.

§ 6. — DIVERS.

1° *Dosages de cuivre* dans quatre échantillons de laiton envoyés par M. Hesdin, fabricant de tôles de cuivre et laiton, à la forge de l'Aune, près Fresnay-sur-Sarthe.

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Teneur indiquée.....	61 p.100	64 p.100	66 p.100	61 p.100
Teneur trouvée par l'analyse.	60,48	63,11	63,77	59,50

2° *Alun.* — Cinq échantillons d'aluns, qui donnaient des résultats très différents au point de vue de la préparation des tissus, ont été adressés par M. Bouttevin, de Mayet. C'étaient tous des aluns à base de potasse, où l'on n'a dosé que l'acide sulfurique et le fer.

	Acide sulfurique (SO ₃)	Fer.	Observations.
N° 1	33,78 p. 100	néant.	Bons résultats.
N° 2	33,84	traces très faibles.	Assez bons résultats.
N° 3	33,16	néant.	Id.
N° 4	33,84	0,02 p. 100	Résultats médiocres.
N° 5	33,86	0,07 p. 100	Tache les tissus.

On voit que les résultats obtenus sont d'autant plus satisfaisants que la quantité de fer est plus faible.

Le laboratoire du Mans a eu en outre à examiner un certain nombre d'échantillons de vins, parmi lesquels un seul contenait

plus de 2 grammes de sulfate de potasse par li
de cidre où l'on soupçonnait la présence de
dernier, l'action directe de l'acide sulfhydrique
réaction et il a fallu détruire les matières org
de l'acide chlorhydrique et du chlorate de po
constater la présence de 0^{sr},0042 de litharge]

III. — LABORATOIRE DE MAR

. Travaux de M. OPPERMANN, ingénieur

§ 1^{er}. — CALCAIRES, CIMEN

1^o *Calcaire à chaux hydraulique.* — Envoi d
fabricant de chaux à Septèmes (Bouches-d
des environs de cette localité, quartier dit d
calcaire de couleur bleue, homogène, à grains
excellente chaux hydraulique. La direction de
ment Nord-Sud, avec un pendage de 15°
oxfordien inférieur.)

Silice . . . . .	.
Alumine et oxyde de fer . . . . .	.
Chaux . . . . .	.
Perte au feu . . . . .	.

2^o *Calcaire à ciment.* — Adressé par M. Du
commune de Simiane (Bouches-du-Rhône), q
donne. Calcaire compact, homogène, à grain
fumée foncé, donne un ciment de bonne quali

puissance totale de 2^m, sont fortement inclinés vers le Sud et dirigés Est-Ouest. (Terrain jurassique moyen, oolithe ou lias.)

L'exploitation a lieu par galeries souterraines.

Silice	0,178
Alumine	0,128
Chaux	0,272
Perte au feu	0,322
	<hr/>
	1,000

3^o et 4^o Calcaire à ciment et Ciment. — Envoi de MM. Long frères, fabricants de ciment.

a. Calcaire à ciment, homogène, à cassure pierreuse, coloration gris de fumée foncé, provient de la commune de la Bourine (Bouches-du-Rhône), quartier du Pinchinier. (Terrain à lignite.)

b. Ciment cuit fabriqué avec le calcaire ci-dessus.

	a	b
Silice	0,186	0,289
Alumine	0,117	0,215
Chaux	0,398	0,486
Oxyde de fer	traces.	traces.
Perte au feu	0,819	>
	<hr/>	<hr/>
	1,000	1,000

5^o Calcaire. — Échantillon pris au point d'émergence de la source minérale du Roucas-Blanc, à Marseille, laquelle arrive au jour par une anfractuosité ouverte dans un massif calcaire appartenant à l'étage néocomien supérieur.

Ce calcaire est très dur, légèrement saccharoïde et sensiblement pur.

Résidu siliceux	0,009
Chaux	0,532
Magnésie	0,011
Oxyde de fer	traces.
Perte au feu	0,448
	<hr/>
	1,000

§ 2. — COMBUSTIBLES

1° *Houille*. — Charbon d'affleurement de la couche St. concession de la Madeleine (Var). C'est une houille maigre, débitant assez facilement, sans compacité, noire, terne, terre coke est pulvérulent, les cendres gris rougeâtre. Le faible calorifique des matières volatiles semble déceler une certaine teneur en eau d'imprégnation.

Matières volatiles	0,475
Carbone fixe	0,417
Cendres	0,108
	<hr/>
	1,000
Pb avec PbO	18,000
Carbone équivalent	0,580
Id. aux matières volatiles	0,113

§ 3. — MINÉRAIS.

1° *Craie pyriteuse*. — Envoi de M. Thomas Versini, des environs du village de Marignana (Corse), où le sieur a fait quelques travaux de recherche peu importants. L'échantillon a été pris sur une petite veinule de quelques centimètres de largeur, qui se trouve au milieu d'un amas de pyrite de fer. L'échantillon n'a pas été dosé.

Gangue quartzreuse	0,063
Cuivre	0,166
Fer	0,384
Soufre, mat. non dosées	0,367
	<hr/>
	1,000

2° et 3° *Craie carbonatée vert.* — Ces deux échantillons

viennent de travaux de recherche effectués par M. Hilarion Roux, sur le territoire de la commune du Luc (Var). Ce gisement, situé à la base des grès bigarrés, consiste en un grès silico-calcaire assez fin, imprégné de carbonate vert.

Une demande de concession est en instance.

a. Paraît représenter la teneur moyenne.

b. Minerai pauvre.

	a	b
Gangue quartzeuse	0,725	0,868
Cuivre	0,128	0,038
Fer	traces.	traces.
Chaux	0,047	0,087
Perte au feu	0,105	0,067
	<hr/> 1,000	<hr/> 1,000

4° et 5° *Galène*. — Envoi de M. Bonnot, à Marseille. Ces deux échantillons proviennent des environs de Néraches, quartier du Carton (Hautes-Alpes), et ont été pris sur un filon qui aurait été autrefois le siège de quelques travaux.

M. Bonnot se propose d'entreprendre quelques recherches sur ce gisement.

C'est une galène à petites facettes, avec traces de blende; la gangue est quartzeuse.

Essai par voie sèche :

	a	b
Plomb p. 100	47	87
Argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre. 90gr.		180gr.

6° *Galène*. — Envoi de M. Amasio, à Marseille. Cet échantillon provient d'un filon traversé par une tranchée du chemin de fer de Graissessac à Bédarieux, sur le territoire de la commune de Complong (Hérault); quelques travaux de recherches vont être entrepris sur ce gisement. C'est une galène cubique, légèrement blendeuse. La gangue est argilo-siliceuse.

Essai par voie sèche :

Plomb p. 100	60
Argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre	151 grammes.

7° *Galène pauvre.* — Galène à petites facettes, à gangue quartzeuse, adressée par M. Garance, à Marseille. Cet échantillon provient des Alpes-Maritimes, commune de St.-Etienne-des-Monts; il a été pris à la partie supérieure d'un filon d'une puissance de 1^m10, encaissé dans des gneiss. Ce filon a été l'objet de quelques travaux. On remarquera la richesse exceptionnelle en argent du plomb obtenu.

Essai par voie sèche :

Plomb p. 100	7
Argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre	590 grammes.

8° *Blende.* — Envoi de M. Garance, à Marseille. Provient de la commune de St.-Etienne-des-Monts (Alpes-Maritimes). L'échantillon a été pris à la partie supérieure d'un filon de 2^m10 de puissance, encaissé dans des gneiss, sur lequel on a effectué certains travaux.

Résidu siliceux	0,416
Zinc	0,245
Fer	0,041
Cuivre, plomb	traces.
Soufre, matières non dosées	0,298
	<hr/>
	1,000

9° *Galène.* — Envoi de M. C. Tian, d'Aden; provient de l'Abyssinie. C'est une galène cubique, sensiblement pure, à l'aspect légèrement blendeux, peu riche en argent. Cet échantillon se présente sous la forme d'un caillou roulé.

Essai par voie sèche.

Plomb p. 100	74,80
Argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre	29 grammes.

10° à 12° *Cuivres pyriteux*. — Envoi de M. Thomas Versini. Ces trois échantillons proviennent d'un gisement rencontré sur le territoire de la commune de Marignana (Corse), gisement sur lequel M. Versini a effectué divers travaux.

a. Pyrite cuivreuse riche.

b. Pyrite cuivreuse avec blende.

c. Pyrite cuivreuse avec blende et galène.

	a	b	c
Gangue siliceuse	0,205	0,155	0,420
Cuivre	0,234	0,108	0,040
Fer.	0,248	0,294	0,217
Zinc	"	0,084	0,118
Plomb	"	"	0,032
Soufre et matières non dosées.	0,813	0,864	0,163
	1,000	1,000	1,000
Argent			0,000280

13° *Galène*. — Envoi de MM. Roux de Fraissinet, à Marseille. Provient de travaux effectués en vue d'une demande en concession, sur le territoire de la commune de la Môle (Var). C'est une galène cubique brillante, sensiblement pure, et riche en argent.

Essai par voie sèche :

Plomb p. 100	73,2
Argent aux 100 kilog. de plomb d'œuvre . . .	428 grammes.

14° *Hématite rouge*. — Provient des recherches effectuées par M. Pastoret, au quartier du Bois-des-Blaques, commune de Château-Double, département du Var.

Silice	0,005
Alumine	0,030
Chaux	0,225
Magnésie	0,009
Fer.	0,280
Soufre	0,003
Plomb	traces
Perte au feu	0,448
	<hr/> 1,000

§ 4. — DIVERS.

1° et 2° Sables. — Ces sables sont entrés dans un mortier utilisé pour des constructions faites de Montredon, banlieue de Marseille. Il s'agit de savoir s'ils étaient de nature à pouvoir donner un mortier bon. Or, les résultats ci-contre montrent que ces sables sont trop calcaires et trop argileux et ne peuvent donner un bon mortier; c'est du reste ce que l'expérience a démontré.

a. Sable nouveau. — b. Sable ancien.

a. Renferme probablement un peu de magnésium.

	a
Sable quartzeux	0,4
Argile	0,0
Chaux	0,2
Perte au feu	0,7
	<hr/> 1,0

3° et 4° Sables. — Envoi de M. Bernard. Ces sables viennent des environs de Piolenc (Vaucluse). Testés.

a. Sable blanc.

b. Sable grisâtre.

Ces sables contiennent des traces de fer à l'analyse; ils pourraient sans doute être utilisés dans l'industrie.

	a
Sable quartzeux	0,9
Chaux	0,0
Perte au feu	0,0
	<hr/> 1,0

5° Boue. — Envoi de M. Roucayrol, ingénieur en chef des ponts et chaussées à Marseille.

Cette boue a été ramassée sous le pavé de la

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

en un point où elle se forme, paraît-il, assez rapidement de repavage.

argile	0,056
ble quartzeux	0,645
CO. CO ²	0,059
CO. CO ²	0,018
CO ²	0,012
u, mat. organiques	0,218
	<hr/>
	1,000

Als. — Envoi de M. Grangeon, à Marseille. Provient des Alpes, commune de La Pisse. Ce gisement qui a, une certaine importance, aurait été, il y a quelques années, siège d'une petite exploitation. On en expédiait les produits au Creusot. C'est un graphite très impur, renfermant une certaine proportion d'argile siliceuse. Peut-être pourrait-il être utilisé dans la fabrication des produits réfractaires; nous ignorons si l'expérience a été faite dans ce sens.

mat. et matières volatiles.	0,044
oxyde de fer.	0,040
silice et alumine	0,494
graphite	0,336
carbone.	0,072
autres.	0,014
	<hr/>
	1,000

Als. pour chapes de voûtes. — Envoi de M. Morellet, ingénieur du génie à Marseille.

Matériau d'asphalte employé pour les chapes de voûtes de ponts et poudres en construction à l'île du Château-d'If. Le matériau contient une proportion de bitume suffisante.

CO. CO ²	0,502
argile siliceuse.	0,208
oxyde de fer.	traces.
mat. et perte	0,017
bitume.	0,273
	<hr/>
	1,000

8° *Gypse*. — Envoi de M. Caseneuve, à Marseille Alpes-Maritimes, de la région de Nice. C'est un de gypse blanc, à texture saccharoïde, à peu près être utilisé pour le moulage. Sa composition en ce qu'il correspond sensiblement à la formule CaO.S

SO_3	.. . . .
CaO}	.. . . .
HO}	.. . . .

9° *Argile*. — Argile rouge provenant de la c Seyne, quartier de St.-Julien (Var).

Envoi de M. Roussel, de Brignoles, qui désirai quoi cette matière ne prenait, sous l'action du fer cohésion. On voit sans peine que le défaut de pl argile est dû à la trop grande quantité de fer qu'el

Silice.	.. . . .
Alumine.	.. . . .
Oxyde de fer.	.. . . .
Chaux	.. . . .
Eau	.. . . .
Matières non dosées et pertes.	.. . . .

10° *Matière cristalline*. — Envoi de M. Benot chef des mines. Matière cristalline d'un blanc p gangue dans certain minerai de fer alumineux d substance, qu'on aurait pu prendre, à première l'hydrargilite, est du carbonate de chaux à peu pr

Alumine.	.. . . .
Chaux	.. . . .
Acide carbonique	.. . . .
Eau	.. . . .

14. — LABORATOIRE DE PAU.

Travaux de M. GENREAU, ingénieur des mines.

erais mélangés (plomb et zinc) du plateau de Lia. Les minerais mélangés de plomb et de zinc offrent un grand intérêt dans la région des Pyrénées, où ils se rencontrent très abondamment, et nous nous sommes proposé d'en étudier un grand nombre provenant de gisements analogues, pour servir à l'étude des exploitations similaires qui commencent à se développer dans le sud-ouest français, dans les mines de Contres, d'Arre et de Lannoy. Cette étude générale a été seulement commencée et nous nous proposons pour point de départ les minerais mélangés du plateau de Lia, qui se présentent à peu de distance de la frontière et qui sont caractérisés par la teneur en argent des plombs-d'œuvre. Ils nous offrent des types assez variés, à comparer ultérieurement avec ceux des autres exploitations situées dans le même étage géologique (terrain silurien).

Minerais variés provenant d'un même filon de minerais siluriens, encaissé entre les schistes et les calcaires siluriens.

	Teneur en plomb, par tonne de minerai.	Teneur en argent, par tonne de minerai.	Teneur en argent du plomb- d'œuvre.
Minerais très purs, à grandes facettes, en proportions peu près égales avec de la galène et de la blende, sans apparence sensible de gangue. Essai fait sur 80 grammes.	p. 100 75	kg. 1,036	kg. 1,422
Minerais à grandes facettes, sans gangue apparente, mais un peu mélangés de blende, en proportions. Essai sur 10 gr.	73,57	0,900	1,323
Minerais à grandes facettes, sans gangue apparente, mais pouvant contenir une faible proportion de blende. Essai sur 20 gr.	71,54	1,000	1,397

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — PAU.

	Teneur en plomb par tonne de minerai.	Teneur en argent par tonne de minerai
4 Galène à grandes facettes sans gangue apparente, mais pouvant contenir une faible proportion de blende. Essai sur 20 gr.	p. 100 70,985	kil. 1,000
5 Galène grenue, à petites facettes, avec quelques grandes lamelles de galène et quelques parties blendeuses apparentes. Essai sur 10 gr.	70	0,950
6 Galène grenue ou à petites facettes, avec un peu de galène à grandes facettes et quelques noyaux apparents de blende brune peu abondante. Essai sur 10 gr.	68,46	0,800
7 Galène grenue ou à petites facettes, avec un peu de galène à grandes facettes et quelques noyaux apparents de blende brune peu abondante. Essai sur 20 gr.	58,475	0,550
8 Galène grenue ou à petites facettes, avec un peu de galène à grandes facettes et quelques noyaux apparents de blende brune peu abondante. Essai sur 10 grammes.....	67,57	0,700
9 Galène grenue ou à petites facettes, avec un peu de galène à grandes facettes et quelques noyaux apparents de blende brune peu abondante. Essai spécial pour argent, sur 10 grammes....	*	0,600

b. Échantillons provenant de l'affleurement d'un filon riche, avec gangue de nature siliceuse, également encasés dans les schistes et les calcaires siluriens.

1. Mélange de galène et de blende, dans une gangue de nature siliceuse. Essai fait sur 10 g.	> 40	0,400
--	------	-------

c. Échantillons provenant d'un filon à gangue siliceuse pyrite magnétique, encasés dans les calcaires siluriens.

11. Échantillon à gangue de nature siliceuse et à pyrite magnétique, avec imprégnation de petites lamelles de galène. Essai fait sur 20 g.	7,62	0,100
12. Échantillon à gangue de nature siliceuse et à pyrite magnétique, avec imprégnation de petites lamelles de galène. Essai fait sur 10 g.	10,60	0,150

2° *Cristaux d'albite et calcaires magnésiens* du cirque de Pé-de-Hourat. (Basses-Pyrénées).

La découverte d'un gîte important, et resté inconnu jusqu'à ce jour, de lherzolithe, dans le cirque de Pé-de-Hourat, vers l'entrée de la vallée d'Ossau, a conduit à examiner de près une substance minérale intéressante qui se montre en cristaux transparents et tabulaires, disséminés dans un calcaire cristallin, près du contact de la lherzolithe avec les calcaires jurassiques de cette région.

Les essais effectués au laboratoire ont démontré que ces cristaux n'étaient pas de la baryte sulfatée comme on pouvait le croire tout d'abord, et une analyse partielle de la substance a fait reconnaître qu'elle renfermait les proportions suivantes de silice, d'alumine et de chaux, en dehors de l'alcali dont le dosage n'a pas été fait :

Silice	70,1 p. 100
Alumine	19,5 "
Chaux	1,8 "

Cette analyse partielle a mis sur la trace de la véritable nature de la substance minérale, et après avoir dégagé de la gangue des cristaux très nets, par l'action lente des acides, l'examen de leur forme a fait reconnaître qu'ils appartenaient sûrement au feldspath albite, étant identiques aux cristaux du col de Bonhomme, en Savoie, et offrant, comme ces derniers, une double macle et étant également très aplatis suivant g_1 .

Un échantillon de ce type intéressant d'albite des Pyrénées a été adressé à l'Ecole des Mines.

Il a été reconnu, une fois la détermination faite, que l'albite avait été déjà rencontré, avec la même forme cristalline, aux environs du village d'Aste, dans la vallée d'Ossau, par M. Des Cloizeaux; mais ce fait était ignoré lors de la découverte du nouveau gîte de Pé-de-Hourat qui a mis sur la trace d'un fait important au point de vue minéralogique, à savoir la fréquence de l'albite dans les roches ophitiques de la région. Nous avons en effet, depuis, retrouvé cette même substance dans les ophites d'Ogen et d'Arudy, et les échantillons de ce dernier gîte ont démontré, en

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — PRIVAS.

outre, le fait non encore constaté jusqu'ici de la pseudo-
de l'albite en analcime.

Les cristaux de Pé-de-Hourat ont été ainsi le point d'
d'observations successives intéressantes pour l'étude de
d'ophite des Pyrénées.

Les calcaires jurassiques au milieu desquels perce le
de lierzolithe se montrent, à peu de distance, cristallins et
avec l'aspect de certaines dolomies. Ils dégagent une odeur
sous le choc du marteau et renferment une proportion notable
magnésie. L'analyse qui en a été faite au laboratoire y a fait
naître les éléments suivants :

Matière charbonneuse ou bitumineuse.	traces
Fer et Alumine.	id.
Chaux.	42,9 p. 100.
Magnésie	9,7

V. — LABORATOIRE DE PRIVAS.

Travaux de M. TAUZIN, ingénieur des mines.

1° *Lignite du Banc-Rouge.* — Échantillon pris au voisinage
puits n° 8. Charbon terne, léger, renfermant un grand nombre
de petits nodules résineux. Brûle avec une odeur empyreumatique
prononcée et en laissant des cendres légèrement rosées.
Donne par calcination un résidu noir pulvérulent. Résultats
résultats de l'analyse :

Carbone fixe.	86,25
Matières volatiles.	44,75
Cendres.	19,00
	<hr/>
	100,00

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

Plomb avec litharge.	178,513
Carbone équivalent	0,5151
Id. aux matières volatiles . .	0,1526

unde impureté de ce combustible ne paraît donc pas per-
espérer (toute autre considération laissée bien entendu de
accroissement notable du chiffre actuel de l'extraction.

thracite de Prades. — Menu pris sur le carreau de la mine
ant du niveau 110 du puits Chalmeton. Charbon noir et
laisse par calcination un résidu noir pulvérulent. L'ana-
nné :

Carbone fixe.	66,71
Matières volatiles.	11,54
Cendres	21,75
	<hr/>
	100,00
Plomb avec litharge	25,235
Carbone équivalent	0,7422
Id. aux matières volatiles . .	0,0751

uches de Prades ne s'améliorent donc guère en profon-
point de vue de la qualité du combustible. La proportion
res paraît cependant beaucoup trop élevée ; l'incinération
faite trois fois, il faut admettre que la prise d'essai, tou-
icile, a laissé ici beaucoup à désirer. Cette expérience sera
1 1882.

uille de St.-Etienne, employée pour la fabrication du gaz
ge à Privas. Cette houille, noire, brillante, à éclat légère-
is, provient de la couche des Lites. Elle donne un coke
très boursofflé. La composition de l'échantillon examiné
vante :

Carbone fixe.	60,71
Matières volatiles	32,73
Cendres	6,54
	<hr/>
	100,00

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — RODEZ

Plomb avec litharge	274
Carbone équivalent	0,1
Id. aux matières volatiles. . .	0,1

4° *Graphite*. — Échantillon recueilli dans la com
purany (Ardèche). La gangue est surtout formée
jaune ; on distingue dans la masse certains nodules
L'analyse a donné :

Carbon fixe.	5
Matières volatiles	
Cendres.	4
	<hr/> 10

Les intéressés fondaient de grandes espérances su
de recherches qu'ils avaient entrepris ; mais une foi
graphite très impur qu'ils avaient découverte à la sur
Il n'a pas été possible de déterminer dans quelle dire
longeait le gîte et les travaux ont été abandonnés.

VI. — LABORATOIRE DE RODEZ.

Travaux de M. LAUR, ingénieur en chef des mines (E)

1° *Minerais de plomb* provenant de filons des
Bouillac (Aveyron).

- Galène grenue, gangue quartzeuse, pyrites et b
- Galène massive, gangue de pyrites de fer.

	a	b	
Plomb . . .	57	80	p. 100
A gent .	110 gr	100 gr.	p. 100 k. de m

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

calcaire provenant des carrières de Riplo, près la Canourgue
), appartenant à M. Abinal, notaire.

analyse faite sur un échantillon moyen prélevé à la carrière
6 :

Sable siliceux	8,00
Silice combinée.	10,70
Alumine.	4,00
Peroxyde de fer.	1,70
Chaux	52,00
Magnésie.	5,80
Perte au feu, etc :	28,30
	<hr/>
	100,00

dice d'hydraulicité est égal à 0,28 ; c'est celui d'une chaux
nement hydraulique.

. — LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE.

Travaux de M. BAROULIER, répétiteur de chimie (EXTRAIT).

1° *Tourbes agglomérées.*

Tourbe de Franche-Comté.

Tourbe de Fourvoirie.

	a	b
hygrométrique à 110°	12 p. 100	12 p. 100
res de couleur blonde	12,10 "	12,50 "
per 100 kilog. de tourbe, mesuré sous la sion de 710mm. et à la température 20° .	25m3	28m3
air calorifique	8790	8647
ouvoir calorifique du carbone étant . . .	7615	7615
du mètre cube	689 kilog.	708 kilog.

essais ont été faits sur la tourbe desséchée.

2° Houilles et coques de Saint-Laurs (Deux-Sèvres)

1. Houille du puits Ste. Claire, veine 5 sud ;
2. Id. id. veine 5 sud, cher
3. Id. id. veine 6 sud ;
4. Id. id. veine 3 nord et
en poussières mélangées ;
5. Houille du puits Ste. Clotilde, veine 5 nord ;
6. Id. id. veine 6 sud ;
7. Id. id. veine 8 sud ;
8. Houille du puits St. Laurent, veine 7 sud (18)
9. Id. id. veine 6 sud ;
10. Coke menu du puits Ste. Clotilde, criblé à 1 c
11. Id. id. id. à 3

	Matières volatiles.	Coke.	Cendres p. 100	Carbone fixe p. 100	Pouvoir calorifique	Soufre
N° 1	20,50	79,50	rouge, blonds et blanche 7,90	71,60	6689	0,22
N° 2	22,25	77,75	rouge 5,50	72,25	6689	0,60
N° 3	20,00	80,00	rouge et blanche 8,95	71,05	6737	0,42
N° 4	20,50	79,50	blonds 10,00	69,50	6618	0,50
N° 5	17,00	83,00	blonde et blanche 6,00	77,00	6770	0,21
N° 6	20,00	80,00	Jaune clair 10,00	70,00	7291	0,58
N° 7	17,70	82,30	blonds 8,00	74,30	6572	0,85
N° 8	24,40	75,60	rouge 5,80	69,80	7511	0,99
N° 9	20,00	80,00	rouge et blonde 8,50	71,50	7177	0,59
N° 10	„ „	100,00	blonds 16,00	84,00	6945	0,62
N° 11	„ „	100,00	blond ardent 18,50	81,50	6870	0,60

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

Chiffres du pouvoir calorifique ont été calculés en prenant les données pour le carbone pur.

Distillation la houille du puits Ste. Claire, veine 5 sud, n° 3, a donné fort peu de gaz; celle du puits St. Laurent 7 sud (1881), en a donné par 100 kilog. 28^{m.c.}, 50, pression de 713^{mm.} et à la température de 22° centigrad.; le gaz a un pouvoir éclairant très faible; la dite houille est donc que pour gazogènes de la métallurgie.

Autres houilles sont bonnes pour coke et pour forges.

Carrière de Bollène employée à l'École des Mines de Saint-Étienne :

Perte au feu.	18,00
Silice	54,00
Chaux	2,00
Magnésie.	0,17
Alumine.	29,00
Sesquioxyde de fer	2,00
	<hr/> 100,17

VIII. — LABORATOIRE DE TROYES.

Travaux de M. PESTELARD, garde-mines principal (EXTRAIT).

1° Argiles.

	a	b	c
Argile siliceuse	10,50	12,50	12,25
Carbonate de chaux	7,53	"	"
Alumine	"	0,50	"
Oxyde de fer	2,07	"	1,25
Silice	48,50	51,00	51,00
Alumine	22,50	23,00	22,50
Matières combinées et matières organiques. .	9,90	18,00	18,00
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

a. Argile envoyée par M. Mocqueris, fabricant d
Mesnil-St-Père.

Cette argile, qui appartient à l'étage du gault, se rend
les marnes et les sables verts du terrain crétacé; elle e
mée pour la fabrication des tuiles, briques, tuyaux d
etc.; ses produits ne sont pas réfractaires.

b. Argile réfractaire exploitée à Villy-en-Trodes. 1
n° 1, blanc, sans aucune tache d'oxyde de fer.

Le résidu de la calcination reste blanc.

c. Argile de même provenance. Échantillon n° 2, b
taches jaunâtres.

Le résidu de la calcination est blanc jaunâtre, couleu
présence d'une certaine quantité d'oxyde de fer.

Ces argiles (b, c), qui appartiennent au terrain néoc
très réfractaires quand elles ne renferment pas d'oxyde
quantité notable. On les rencontre le plus ordinai
petits mamelons, où elles existent en couche d'un
d'environ 0^m60. Elles sont recouvertes par des terres
mélangées de minerai de fer oolithique, et par des couc
plus ou moins réfractaire. En relevant une coupe de ce
a trouvé :

Terre végétale argilo-sableuse.	0,50
Terre argileuse mélangée de minerai de fer.	8,50
Sable jaunâtre ferrugineux.	0,50
Sable bigarré gris rougeâtre	0,40
Sable jaunâtre réfractaire.	0,60
Argile blanche réfractaire	0,60

Ces argiles donnent lieu à de nombreuses exploitat
sont spécialement employées à la fabrication des creus
serie, gazettes, etc.

Les échantillons qui renferment une certaine quantité
fer servent à la fabrication des poteries communes et
réfractaires; leur prix de vente varie de 18 fr. à 26 fr. les
en gare, sur wagon, suivant leur qualité.

2° Argiles plastiques des terrains tertiaires.

	a	b	c	d	e
quartz (par lévigation).	1,00	0,90	4,50	1,00	1,20
.....	25,30	21,50	23,00	14,00	34,30
.....	56,00	56,10	51,50	24,00	24,00
.....	1,50	0,90	1,00	0,50	0,50
fer.	"	"	traces.	"	traces.
matières bitumineuses .	16,20	17,60	20,00	20,50	20,00
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

le réfractaire de Montpothier. Échantillon n° 1, argile
octueuse au toucher.

gile renferme une certaine quantité de sable quartzeux
n'a pu être complètement séparé par lévigation.

u de la calcination est parfaitement blanc.

e de Montpothier. Échantillon n° 2, couche inférieure de
violacée; même gisement que le n° qui précède.

u de la calcination est blanc grisâtre.

de Sézanne (Marne), gris foncé.

u de la calcination est blanc avec une légère teinte

le de Germaine (Marne), couche inférieure grise violacée,
sire.

u de la calcination est blanc grisâtre.

de Mutigny (Marne), couche inférieure, teinte grise

u est blanc avec teinte jaunâtre.

iles plastiques des terrains tertiaires (a, b, c, d, e), ana-
dessus ont sensiblement la même composition; leur
rie du blanc au gris foncé violacé, suivant la quantité et
les matières bitumineuses qu'elles renferment.

ontiennent un peu de magnésie, mais pas de chaux ni
le fer, dont on ne trouve que des traces. Aussi le résultat

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — ALGER.

de la calcination reste-t-il constamment blanc, avec de très nuances grises ou jaunâtres.

Le peu de sable quartzeux qu'elles renferment est très fin est impossible de le séparer complètement par lévigation.

Voici une coupe du terrain qui surmonte ces argiles de importante exploitation qui a lieu à Montpothier.

Terre végétale argilo-sableuse	^m 0,50
Terre argileuse	2,00
Grès	1,00
Argile blanche réfractaire	2,50
Argile brune réfractaire	2,00

Au-dessous de ces couches on rencontre des sables et des non réfractaires.

Les argiles réfractaires des terrains tertiaires sont employées fabrication des gazettes, creusets, etc.

IX.—LABORATOIRE D'ALGER.

Travaux de M. TINGRY, garde-mines (EXTRAIT).

§ I. — MINÉRAIS.

1^o à 3^o *Galène*. — Échantillons provenant des mines de plomb et métaux connexes de R'arbou, déposés par M. Fes

	Plomb p
a.	65
b.	57
c.	72
d. (Échantillon moyen)	65

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

Argent à la tonne de plomb.

a.	1 ^k ,209
d.	1 ^k ,893

Cuivre gris, de la même provenance.

Teneur en cuivre	18,85 p. 100
Argent par tonne de cuivre . .	5 ^k ,358

Galène blendeuse; de la même provenance.

Sulfure de zinc	67,32
Id. de plomb	16,28
Peroxyde de fer	3,27
Carbonate de chaux	} 2,52
Id. de magnésie.	
Silice	8,65
Cuivre	traces
Argent	0,12
Pertes	1,84
Total	100,00

qui donne comme résultat, pour les métaux :

Zinc métallique	44,52
Plomb	14,13
Argent à la tonne de plomb	0 ^k ,850
Id. id. de minerai.. . . .	0 ^k ,121

à 8° *Galène argentifère*. — Échantillons provenant de lach, déposés par M. Fassin.

- a. Galène à facettes.
- b. Galène à grains.
- c. Galène à petits grains.

gangue est quarzeuse.

	Plomb p. 100	Argent à la tonne de plomb.
		kl.
. . . .	89,80	1,808
. . . .	42,17	1,491
. . . .	45,73	1,673

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — ALGER.

9° *Galène blendeuse*. — Échantillon provenant de Sid. déposé par M. Fassin. Gangue quartzreuse.

Zinc	81,15
Plomb	14,00
Mercure	0,22
Gangues	22,00
Soufre	22,63
	<hr/>
	100,00

10° à 13° *Galène*. — Échantillons provenant des re faites par M. Pillot aux environs de Tizi Ouzou.

a, b. Galène à facettes, mélangée d'oxyde de fer.

c, d. Galène à grains, mélangée de baryte.

	Plomb p. 100.	Argent à la tonne d
		kil.
a.	84,50	1,885
b.	41,00	1,992
c.	29,75	1,005
d.	24,22	0,979

14° *Galène blendeuse*, de la même provenance.

Plomb p. 100	81,00
Zinc p. 100.	19,75
Argent.	impondérable

15° *Cuivre gris*, de la même provenance, mélangé de n de malachite, avec petites géodes d'azurite, et beaucoup d

Cuivre p. 100	17,84
Argent à la tonne de métal	0 ^k ,225

16° *Grès schistoïde*, de la même provenance, cont

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE

oxyde d'oxyde de fer et de manganèse, analysé pour manga-

Manganèse p. 100 3,35

Roche de la même provenance.

Peroxyde de fer	62,480
Id. de manganèse	3,218
Sulfate de zinc	13,484
Silice	18,316
Peries.	3,502
	<hr/>
	100,000

D'où l'on déduit :

Fer	44,00 p. 100
Zinc	9,05 "
Manganèse	2,25 "

Galène des environs de Saïda, département d'Oran. —
Échantillon remis par M. Delage, professeur de minéralogie à
l'école supérieure des sciences à Alger.

Plomb, p. 100	43,00
Argent à la tonne de plomb	5 ^k ,800

La galerie est à grandes facettes et à gangue d'oxyde de fer.

et 20° Galène. — Échantillons provenant de Taghmout à
l'Ouest de Médéah, remis par MM. Wilson et Kanoui.

Échantillon N° 1.

Teneur en plomb	31,12 p. 100
Argent	Résultat impondérable.

Échantillon N° 2.

Teneur en plomb	59,09 p. 100
Argent à la tonne de plomb	1 ^k ,390
Soit par tonne de minerai	0 ^k ,710

21° *Galène* de la mine de Sakamody.

Culot de plomb avec 40 gr. de minerai	19,480
Bouton d'argent avec 10 gr. de plomb	0,01
Zinc, présence constatée, mais en quantité non dosée.	
Mercure	pas de traces.
Gangue ocreuse.	

Ce qui donne :

Plomb p. 100.	49,825
Argent à la tonne de plomb.. . . .	1k,00

22° *Minerai de fer* provenant de la concession de l'Oued Messelmoun, recherches faites dans de nouvelles directions, et remis au laboratoire par M. l'ingénieur de l'exploitation.

	<i>a</i>	<i>b</i>
Fer, p. 100.. . . .	52,00	49,60
Manganèse, p. 100. . . .	3,45	3,80

§ 2. — COMBUSTIBLES.

Lignite. — Échantillon provenant des environs de Dellys, remis par M. l'Ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Ce lignite est fortement imprégné de pyrites, la cassure est terne, la texture lamellaire, il se présente en petits fragments.

Carbone	48,16
Matières volatiles	14,42
Cendres	25,14
Peres.	1,28
	<hr/>
	100,00
Pouvoir calorifique	5720

§ 3. — EAUX.

	1	2	3	4	5	6	7
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
acide carbonique.....	0,121	0,132	0,162	0,190	0,266	0,284	0,255
d. sulfurique.....	0,107	0,102	0,144	0,150	0,153	0,161	0,129
d. sulfhydrique.....	"	"	0,000461	"	"	"	"
d. chlorhydrique.....	0,229	0,166	0,251	0,127	0,297	0,265	0,218
d. silicique.....	0,008	0,008	0,011	0,007	0,002	0,003	0,004
d. nitrique.....	"	"	"	"	"	"	"
d. phosphorique.....	"	"	"	"	"	"	"
haux.....	0,149	0,172	0,189	0,225	0,271	0,407	0,270
agnésie.....	0,084	0,094	0,125	0,074	0,127	0,049	0,106
rode et potasse.....	0,157	0,142	0,154	0,157	0,258	0,310	0,106
xyde de fer et alumine.....	0,005	0,007	0,008	0,011	0,008	0,018	"
atières organiques.....	"	"	traces	"	"	0,007	"
gré hydrotimétrique.....	31°,7	33°	42°	38°	50°	57°,5	41°
oids des sels par litres.....	gr. 0,864	gr. 0,920	gr. 1,062	gr. 1,000	gr. 1,450	gr. 1,685	gr. 1,210
COMPOSITION PROBABLE DES SELS							
arbonate de chaux.....	0,183	0,203	0,241	0,202	0,362	0,526	0,397
Id. de magnésie.....	0,079	0,082	0,108	0,052	0,206	0,102	0,153
Id. de soude.....	"	"	"	"	"	"	"
sulfate de chaux.....	0,112	0,142	0,132	0,104	0,167	0,273	0,115
Id. de magnésie.....	0,062	0,163	0,100	0,097	0,082	"	0,098
Id. de soude.....	"	"	"	0,113	"	"	"
chlorure de sodium.....	0,241	0,308	0,325	0,235	0,550	0,075	0,408
Id. de magnésium.....	0,070	"	0,109	"	"	"	"
Id. de calcium.....	"	"	"	"	"	"	"
xyde de fer et alumine.....	0,005	0,007	0,002	0,011	0,008	0,013	0,010
lice.....	0,008	0,008	0,011	0,007	0,002	0,005	0,004
itrites.....	"	"	"	"	"	"	"
sulfures.....	"	"	traces marq.	"	"	"	"
atières organiques.....	"	"	traces	"	"	0,007	"
rites.....	0,004	0,007	0,014	0,009	0,073	0,064	0,085
Total.....	0,864	0,920	1,062	1,000	1,450	1,685	1,210

EAUX (*Suite*).

	8	9	10	11	12	13	14
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Acide carbonique.....	0,026	0,075	0,053	0,018	0,031	0,025	0,038
Id. sulfurique	0,051	0,120	0,300	0,640	0,689	0,030	0,026
Id. sulfhydrique.....	"	"	"	"	"	"	"
Id. chlorhydrique	0,083	0,640	0,630	0,405	0,378	0,080	0,027
Id. silicique	0,002	0,011	0,022	0,004	0,009	0,002	0,003
Id. nitrique	"	"	"	"	"	"	"
Id. phosphorique	"	"	"	"	"	"	"
Chaux	0,041	0,116	0,206	0,306	0,275	0,040	0,033
Magnésie.....	0,021	0,109	0,050	0,121	0,142	0,008	0,025
Soude et potasse	0,071	0,452	0,520	0,245	0,320	0,070	0,023
Oxyde de fer et alumine.....	0,013	0,010	0,007	0,010	0,013	0,007	0,006
Matières organiques.....	traces très faibles	0,062	traces	"	"	0,020	0,065
Degré hydrotimétrique.....	27° 2	48°	54°	44°	44°	16°	17°
Poids des sels par litre	gr. 0,320	gr. 1,598	gr. 1,825	gr. 1,880	gr. 1,960	gr. 0,300	gr. 0,275
COMPOSITION PROBABLE DES SELS							
Carbonate de chaux.....	0,030	0,128	0,088	0,042	0,057	0,049	0,041
Id. de magnésie	0,018	0,037	0,027	"	0,011	0,005	0,037
Id. de soude.....	"	"	"	"	"	"	"
Sulfate de chaux	0,047	0,108	0,388	0,687	0,583	0,082	0,020
Id. de magnésie	0,025	0,085	0,112	0,356	0,402	0,017	0,015
Id. de soude.....	"	"	"	"	0,182	"	"
Chlorure de sodium.....	0,154	0,983	1,150	0,750	0,700	0,150	0,050
Id. de magnésium.....	"	0,171	"	"	"	"	"
Id. de calcium	"	"	"	"	"	"	"
Oxyde de fer et alumine.....	0,013	0,010	0,007	0,010	0,013	0,007	0,006
Silice	0,002	0,011	0,022	0,004	0,009	0,002	0,003
Nitrates.....	"	"	"	"	"	"	"
Sulfures	"	"	"	"	"	"	"
Matières organiques.....	traces	0,062	traces	"	"	0,020	0,065
Perles.....	0,012	0,003	0,036	0,031	0,043	0,018	0,029
Total.....	0,320	1,598	1,825	1,880	1,960	0,300	0,275

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

3° Eaux du Djendel, remises par l'administration des
chaussées. Service de la colonisation.

aux proviennent de puits creusés pour l'installation d'un
centre de colonisation et doivent être utilisées pour les
domestiques.

N° 1. — Puits d'Aïn Sidi ben Chabi.

N° 2. — Aïn Nackla.

N° 3. — Aïn el Hamra.

7° Eaux de l'Oued Zeboudja.

analyse demandée par l'administration des ponts et chaussées
service de la colonisation.

au des environs d'Alger.

l'eau provient de sources découvertes dans les environs
, sur le territoire d'El-Biar.

analyse a été demandée au service des mines afin de com-
parer les études faites pour l'alimentation de la ville d'Alger en
eau potable. Le dépôt au laboratoire en a été fait par M. Beudon,
ingénieur municipal, membre de la commission des travaux.

l'eau provenant d'une source trouvée dans la propriété Cardaire
, quartier Rovigo, et proposée pour l'alimentation.

analyse de cette eau a été demandée par le service des eaux.
Comme à son désir on a fait d'abord une analyse sommaire,
résultat :

Poids des sels par litre	gr.
Carbonate de chaux, magnésie. }	1,580
Sulfate de chaux, magnésie . . }	0,365
Chlorures	1,162
Matières organiques	0,068

analyse complète a donné les résultats consignés à la colonne
ci-jointe.

10° Eau de Fedjana.

L'Administration de la commune mixte de Cherchell a envoyé au laboratoire un échantillon d'eau provenant de Fedjana, tribu des Beni Menasser, pour être analysée.

Cette eau est destinée à l'alimentation de deux fermes créées dans le périmètre de la tribu.

La ferme dans laquelle se trouve le puits qui a fourni cet échantillon est la ferme Gobillon.

11° à 14° Eaux provenant du pont du Caïd et du Camp des Chênes et remis au laboratoire par le service des ponts et chaussées. Service de la colonisation.

N° 11. — Pont du Caïd. Eau du puits du lavoir.

N° 12. — Pont du Caïd. Eau du puits de l'abreuvoir.

N° 13. — Camp des Chênes. Source N° 1.

N° 14. — Camp des Chênes. Source N° 2.

X. — LABORATOIRE DE CONSTANTINE.

Travaux de M. PONCELET, garde-mines (années 1879-1880)
et de M. POULET, garde-mines (année 1881.) (EXTRAIT).

§ 1^{er}. — MINÉRAIS.

1° Galène et Blande provenant de Zemmour; échantillon remis par M. Virot, de Philippeville; gangue quartzeuse et ferrugineuse :

Teneur en plomb. 29,7 p. 100.

Argent, par tonne de plomb d'œuvre. 2^k,778

Tome IV, 1883.

Galène pure ou cuivreuse, provenant de la tribu des Beni-Ismâïl; échantillons remis par M. Deutsch, agent secondaire.

Galène pure à facettes irrégulières.

Argent, par tonne de minerai 600gr.

Galène cubique pure.

Argent, par tonne de minerai. 1k,900

Pyrite cuivreuse avec 5 p. 100 environ de galène cubique ci-

leur en argent, par tonne de minerai à 5 p. 100 de galène 740gr.
correspondant à 678gr. par tonne de pyrite cuivreuse pure.

par tonne de cuivre 2k,260 pour un rendement en cuivre
p. 100, ou 2k,712 pour un rendement de 25 p. 100.

Galènes et Cuivres gris. — Échantillons remis par M. Du-

l, de Bougie.

Galène à larges facettes cubiques des Beni-Ismâïl.

Valeur en argent : 750gr. par tonne de minerai pur, ou 662gr,35
par tonne de plomb d'œuvre.

Galène à larges facettes cubiques des Beni-Amrous.

Valeur en argent : 650gr. par tonne de minerai pur, ou 764gr,30
par tonne de plomb d'œuvre.

Galène mal cristallisée et mélangée de blende des Beni-

s.

Essai fait sur la galène pure a donné :

Valeur en argent : 400gr. par tonne de minerai pur, ou 470gr,58
par tonne de plomb d'œuvre.

Second essai a été fait sur le mélange de galène et de blende
mélangé :

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE.

Teneur en argent : 450gr. par tonne de minerai, ou 650gr. par tonne de plomb d'œuvre.

Un essai du même par scorification a donné :

Teneur en argent : 484gr. par tonne de minerai.

d. Cuivre gris de Tulus (Babor).

L'essai a été fait pour cuivre et pour argent.

L'échantillon renferme de l'antimoine.

Cuivre	32,3	p.
Argent	0,1266	p.
soit 1k,368 par tonne de minerai pur, ou 4k,285 par tonne de cuivre.		

e. Cuivre gris de Aït-Abbès (Tahamoul).

L'échantillon contient de l'arsenic.

Cuivre	24	p.
Argent	0,166	p.
soit 1k,668 par tonne de minerai pur, ou 4k,905 par tonne de cuivre.		

f. Cuivre gris de Tala-N'zaun (Babor).

L'échantillon contient de l'antimoine.

Cuivre	27,6	p.
Argent	0,246	p.
soit 3k,460 par tonne de minerai pur, ou 9k,202 par tonne de cuivre.		

4° Galène. — Deux échantillons, remis par M. Estignard

a. Galène à facettes cubiques des Beni-Momour.

Argent : 0,0255 p. 100, soit 255gr. par tonne de minerai pur.

b. Galène à petits cristaux brillants des Beni-Chabana.

Argent : 0,0202 p. 100, soit 202gr. par tonne de minerai pur.

Galène et Blende. — Deux échantillons remis par M. Chares et provenant du Djebel-Bekal.

ai pour argent et pour or.

Paraît être un mélange de galène, blende et plomb carbonaté, gangue carbonatée ferrugineuse.

Teneur en argent : 1^k,240 pour une tonne de minerai brut.

Mélange de galène et blende, en veine dans une gangue de carbonatée ferrugineuse cristallisée.

Teneur en argent : 0^k,660 par tonne de minerai brut.

deux boutons traités ensuite pour or ont donné un résultat f.

Galène provenant du versant de l'Oued-Milla et remise par Pouleaud et Fagès, de Djidjelli.

minerai contient environ 5 p. 100 de gangue. Il consiste en à grain demi-fin.

Argent, par tonne de minerai : 0^k,150 ou, par tonne de plomb d'œuvre, 0^k,197 d'argent.

Minerai de plomb. — Deux échantillons, provenant d'une unisienne appartenant à la Compagnie de Bône-Guelma.

Plomb carbonaté mélangé de gangue dans une proportion s à vue à 10 p. 100.

Teneur en argent, par tonne de minerai brut, 0^k,200, correspondant à 288^{gr}. d'argent par tonne de plomb d'œuvre.

bouton trop petit n'a pas permis de chercher l'or.

lomb sulfuré, mélangé de plomb carbonaté et d'un peu d'antimoine sulfuré. Ce minerai brut renferme environ 40 p. 100 de plomb estimée à vue.

Teneur en argent, par tonne de minerai brut, 387^{gr},5 soit 703^{gr},12 par tonne de plomb d'œuvre.

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE.

Le bouton contenait de l'or, mais en trop petite quantité pour être pesé.

8° *Galène* provenant des Beni-Keltab. L'échantillon contenait environ 5 p. 100 de gangue.

Argent, par tonne de minerai, 400fr, soit, par tonne de plomb d'œuvre 526gr.

9° *Galène* provenant de l'Oued-Oudina, remis par MM. et Viot. Le minerai est constitué par un mélange de galène, plomb carbonaté et de la baryte avec un peu d'hydroxyde

Plomb d'œuvre.	38,9 p. 1
Argent par 1.000k. de minerai.	1k.,6985
Id. 1.000 de plomb d'œuvre	5,875

10° *Cuivre gris* remis par M. Germon. Ce minerai est arsénifère et arsenifère.

Le cuivre a été dosé sur le minerai pur séparé de la gangue. On a obtenu :

Cuivre	85,5
On a obtenu un bouton d'argent pesant.	0gr,0184
Teneur en argent, 1k,680 par tonne de minerai pur, ou 4k,74 par tonne de cuivre.	

11° *Minerais* provenant de l'Oued-Oudina, remis par M. de Philippeville, pour être essayés pour argent.

Les échantillons sont constitués par des hydroxydes de fer et de manganèse avec beaucoup de baryte lamelleuse et renferment outre quelque peu de galène. La prise d'essai a été faite sur la partie contenant le moins de baryte.

Teneur en argent : 0,021 p. 100, soit 210gr. par tonne de minerai pur.

12° *Galène* remise par M. Dominique, et provenant du D. 1 (Batna).

Teneur en argent : 390gr. par tonne de minerai pur.

Calamine remise par M. Germon, et provenant du Djebel-
Le minéral présente l'aspect d'une marne fortement impré-
gnée de calamine.

Teneur en zinc. 37,4 p. 100

Galène remise par M. Pasquier, de Bône, et provenant des
d (Oued-Cham). Cette galène est à grains fins mélangée de
le.

Plomb 68 p. 100

Argent, par tonne de minéral, 68^r.; par tonne de plomb
d'œuvre, 88^r,82.

Galène provenant des environs de Djidjelly (au-dessus
eni-Caid), remise par M. Andreucci. L'échantillon essayé
environ 50 p. 100 de gangue barytique, évaluée à vue.

Teneur en plomb 80 p. 100

Teneur en argent, par tonne de minéral brut, 1388^r,90 ou, par
tonne de plomb d'œuvre, 463 gr.

Galène des environs de Djidjelly, remise par M. Bidault.
antillon à gangue quartzeuse.

Teneur en plomb 50,5 p. 100

Teneur en argent, par tonne de minéral brut 1208^r,0

Id. id. plomb 2378^r,6

Galène remise par M. Terrailon, et provenant de Sid-
ber, chez les Ouled-el-Hadj. Cette galène est à larges facettes
ésente sur une de ses faces une poussière noire. Il a été fait
essais, un sur la poussière noire et l'autre sur la galène à
s facettes.

sai sur la poussière noire : cette poussière noire est de la

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE.

galène mêlée à un peu de pyrite de fer et un peu de gangue, donne par la voie sèche :

60 p. 100 de plomb d'œuvre et 0,035 d'argent, soit :
508gr. d'argent par tonne de plomb d'œuvre, ou
850 — — — de minerai.

Essai sur la galène à larges facettes :

Plomb d'œuvre, 72,7 p. 100 et argent, 0,020, soit :
275gr. d'argent à la tonne de plomb d'œuvre, ou
200 — — — de minerai.

18° *Minerais de fer* provenant du Djebel-Lesoud, près de Beida, déclaration Roussel. L'échantillon remis est en deux bancs ; le premier banc est une hématite brune et le second hématite rouge. Il a été fait une analyse sur chacune d'hématites.

a. Hématite rouge à 60,2 p. 100 de fer,

b. Hématite brune à 55,1 p. 100 de fer.

	a	b
Peroxyde de fer avec traces de protoxyde .	0,860	0,788
Alumine	0,012	0,015
Protoxyde de manganèse.	0,006	0,005
Sulfure	0,029	0,071
Silice.	0,0017	0,0016
Perte au feu.	0,0405	0,075
Phosphore.	néant.	néant.
Total.	1,0092	1,0081

19° *Minerais divers* remis à l'appui d'une demande de concession faite par M. Terrailon. Mines de Bir-Beni-Salah.

a. Filon Cave. — Galène en concrétions sur du sulfate de baryte. Ces concrétions contiennent soit une poussière noire, soit un mélange de pyrite de fer et de galène.

BULLETIN DES TRAVAUX DE CHIMIE.

sulfate de baryte qui forme la gangue ne renferme que de minuscules nouches de galène qui ne pourraient être utilisées que séparées de la gangue par une préparation mécanique.

Il a été fait d'essai pour argent que sur les concrétions séparées du minerai de la gangue.

L'essai a donné :

5,47 p. 100 de plomb d'œuvre très aigre et 0,879 d'argent, soit :

Argent, par tonne de minerai	8k,790
— — — — — plomb d'œuvre.	14, 880

Le bouton d'argent n'a donné que des traces d'or non dosables.

Filon Cave (pauvre). — Échantillon contenant toute la partie minéralisée du filon. La minéralisation se compose de fer carbonaté, de baryte, silice, blende et galène. La galène étant en très petite quantité, il n'a pas été fait d'essai pour plomb d'œuvre.

Teneur d'argent à la tonne de minerai . . 128gr.

Filon Cave (fond du puits). — Échantillon contenant sulfate de baryte, blende blonde et galène disséminée dans la masse.

Teneur d'argent à la tonne de minerai . . 124gr.

Filon Poulet, croiseur ferrugineux. — Ce minerai est un oxyde ferrugineux avec traces de carbonate de fer et de carbonate de plomb.

Teneur d'argent à la tonne de minerai . . 47gr.

Filon Roti, l'une des veines accessoires, 0^m,20 d'épaisseur. — L'échantillon est un morceau de remplissage du filon, il se compose d'oxyde ferrugineux, de sulfate de baryte et de galène à petites nouches.

Teneur d'argent à la tonne de plomb	3k,380
— — — — — de minerai	1k,000

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE.

f. Filon Poivre (1^{er} niveau). — Échantillon entièrement composé de blende avec quelques mouches de cinabre.

Teneur en mercure 11,7 p. 100

g. Filon Poivre (1^{er} niveau). — Cinabre.

Teneur en mercure du minerai : 86,2 p. 100

Cinabre.	0,422
Gangues	0,217
	<hr/>
	0,639

Les 0^{gr},361 restant se composent de sulfures de plomb, cuivre ou de zinc.

L'essai de ce cinabre pour or et pour argent a donné les résultats suivants :

Par tonne de minerai non grillé. .	{ Or . . .	1 ^{gr} .
	{ Argent. .	68
Par tonne de minerai grillé . . .	{ Or . . .	8 ^{gr} ,730
	{ Argent .	254,20

h. Filon Sardine (parties riches). — Cet échantillon est du bonate de plomb disséminé dans une gangue ferrugineuse.

Rendement en plomb du minerai . . . 58,1 p. 100

Teneur en argent à la tonne de plomb d'œuvre . . . 2^{gr},857
 — — — — — minerai. 1, 640

20^e *Minerai* pyriteux avec or et argent, remis par M. Bel de Bissy, à M. le Préfet de Constantine. Ces échantillons présentent deux types de minerai.

a. Un minerai de fer contenant une forte proportion de pyrite.

b. Une roche blanche contenant de petits cristaux de pyrite disséminés dans la masse.

! DÉPARTEMENTAUX. — CONSTANTINE.

1	23,4	25,5	25,5	23,8	•	Calcaires siliceux. Zinc non
2	27,7	27,2	27,5	22,0	•	Minéral coquilleux composé hydroxydé et calcaire siliceux à éclat gras dû au carbonate
5	22,9	21,9	22,1	21,2	•	Minéral terreux composé de siliceux et ferrugineux. apparent
6	18,5	5,4	2,2	4,1	•	Minéral rubané. Fer hydroxydé. Zinc non apparent
12	20,5	44,2	•	•	62,5	Minéral rogneux. Pâte de calcaire et fer hydroxydé. de zinc silicaté
17	22,6	•	12,1	27,0	•	Minéral terreux. Pâte de calcaire et fer hydroxydé. Fer très mal déterminé, probablement de zinc carbonaté
18	22,2	22,2	22,0	22,4	•	Minéral rogneux. Pâte de calcaire et fer hydroxydé. à éclat gras dû au zinc carbonaté
20	18,75	15,9	15,6	19,9	•	Minéral coquilleux. Pâte de hydroxydé et calcaire siliceux. à éclat gras. Petites cristallisations cavernes de zinc carbonaté
21	24,6	•	27,6	22,7	•	Minéral rogneux. Pâte de hydroxydé et calcaire. Calcaire à éclat gras dû au zinc carbonaté
22	22,3	•	23,7	20,6	•	Minéral rogneux. Pâte de hydroxydé, un peu de calcaire baryte. Zinc non apparent

§ 2. — EAUX.

1° Eau de Hammam Sidi Djeballah El Agari.

L'eau est limpide. Quoique donnée comme ferrugineuse
on n'a trouvé aucune trace de fer.

3° Eau minérale de Takitount.

Analyse directe

Acide carbonique libre. 11

Acide carbonique combiné

	gr.
Chlore	0,141
Acide sulfurique . . .	0,068
Chaux	0,941
Magnésie	0,095
Sodium	0,561
Potassium	traces
Silice	fortes traces
	<hr/>
	1,206

à ajouter $\frac{1,650}{2}$ acide carbonique = 0,825 pour les
et oxygène combiné au sodium = 0,170 dans le

Total	2,201
Poids du résidu fixe.	2,204
	<hr/>
Perte	0,003

Interprétation des résultats directs :

Acide carbonique libre	
Bicarbonate de soude	
Id. de chaux	
Id. de magnésie	
Sulfate de chaux	
Chlorure de sodium	

Il n'y a pas été trouvé de fer.

Cette eau doit être classée dans les eaux acid
sodiques.

LABORATOIRES DÉPARTEMENTAUX. — CONSTA

éléments principaux, savoir : le bicarbonate de
carbonate de chaux, cette eau minérale se rapproche
l'eau minérale de Medage (Puy-de-Dôme) qui com

Carbonate de soude 187,290. Carbonate de chaux

Carbonate de magnésie 087,942.

Cette eau a également de l'analogie avec l
source de Levana (Toscane).

5° Eau de la source des bains de l'Oued Alhm
Grous).

Cette eau est chaude à la source, ce qui explique
l'absence complète de gaz libre, soit acide carboni
sulfydrique. La température de l'eau à la source n
minée, ne nous étant pas transporté nous même à
faire la prise d'essai.

Les résultats de l'analyse du résidu fixe sont le
1.000 grammes d'eau :

L'eau à 29° centig. a pour densité 1,0009.

Acide carbonique combiné	
Acide sulfurique	
Chlore	
Silice	
Peroxyde de fer	
Chaux	
Strontiane	
Magnésie	
Soude	

A déduire : 1 équivalent d'oxygène pour 1 équivalent de ch

Résidu de l'évaporation d'un litre.

Différence

ritch ; l'essai de cet échantillon
de en permis de recherche de c
présentées par cet explorateur, associé à MM. Sarto
d'Oran.

La teneur en cuivre a été trouvée de 54,5 p. 100.

Le dosage de l'argent a donné un résultat négatif.

§ 2. — DIVERS.

• 1° *Bitume d'Aïn-Zeft.*

L'échantillon de bitume provenait de la source
comprise dans la demande en concession introduite p
Gérard, Lévy et consorts.

La distillation a été poussée jusqu'à 270° : jusqu'
gement gazeux ; de 90° à 120° formation de vapeurs c
à 130° boursofflement et ébullition ; jusqu'à 200° di
liquide jaunâtre qui se continue jusqu'à 270°.

Résultats obtenus :

Gas et vapeur d'eau	8,7
Huile lourde	8,5
Résidu pâteux à 270°	87,6
Total	100,6

2° *Eau salée d'Aïn-Zeft.*

Cette eau sert de véhicule au bitume qui émet
source. Elle dégage sur place une forte odeur sulfuree
le gaz hydrogène sulfuré s'était évaporé, puisque l'a
pas révélé une quantité appréciable.

On a dosé :

Chlorure de sodium (au litre)	
Sulfate de chaux (id.).	
Résidu fixe (id.).	

RAPPORT

PRÉSENTÉ

AU COMITÉ DE L'EXPLOITATION TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER
AU NOM DE LA COMMISSION (*) CHARGÉE D'ÉTUDIER
LES MOYENS DE PRÉVENIR LES COLLISIONS DE TRAINS

OCCASIONNÉES PAR LA RENCONTRE DE PLUSIEURS VOIES

Par M. VICAIRE, ingénieur en chef des mines.

Les collisions auxquelles un train est exposé par le fait de la rencontre de la voie sur laquelle il circule avec d'autres voies, peuvent se produire de deux manières : ou bien le train lui-même est dirigé indûment sur des voies où il rencontre, soit d'autres véhicules, soit des obstacles fixes; ou bien ce sont, au contraire, d'autres

(*) Cette Commission, instituée par suite d'une communication ministérielle du 22 novembre 1882, était composée de : MM. ROUSSELLE, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer d'Orléans, *président*; SCHLEMMER, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du contrôle des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée; SEVÈNE, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la compagnie des chemins de fer d'Orléans; VICAIRE, ingénieur en chef des mines, professeur du cours de chemins de fer à l'École supérieure des mines, *rapporteur*.

Les conclusions du rapport de la Commission ont été adoptées par le Comité de l'exploitation technique dans sa séance du 29 mai 1883 et approuvées par M. le Ministre des travaux publics (*Voir à la partie administrative, p. 382, la circulaire du 6 août 1883.*)

Dans le premier cas, c'est-à-dire lorsque le train aborde une aiguille en pointe, la sécurité dépend essentiellement de la position de l'aiguille. Par conséquent, l'aiguille elle-même ou son levier de manœuvre doit entrer dans toute combinaison d'enclenchement. Il n'y a pas lieu, en général, d'interdire l'accès de l'aiguille, puisque les diverses voies auxquelles elle conduit doivent pouvoir être utilisées simultanément; par conséquent, les signaux placés sur le tronc unique, c'est-à-dire du côté de la pointe de l'aiguille, doivent rester en dehors de la combinaison, au moins tant que signaux d'arrêt absolu; on peut trouver opportun d'y faire entrer des signaux d'arrêt franchissables ou des signaux de ralentissement placés de ce côté, afin que les trains n'arrivent à la pointe de l'aiguille qu'avec une vitesse modérée; encore n'y aura-t-il pas convenance à faire le plus souvent, puisque l'opportunité de marcher avec prudence est la même de quelque côté que l'aiguille soit tournée.

Y a-t-il lieu de placer des signaux sur les diverses voies auxquelles l'aiguille conduit et de les enclencher avec elle? Sans nier que cela puisse être opportun dans certains cas, remarquons que ces signaux seraient généralement inutiles, puisque l'aiguille, convenablement tournée, suffit à protéger la voie occupée; si les agents pensent à la couvrir par un signal, ils penseront sans plus de difficulté à la couvrir au moyen de l'aiguille, qui sera beaucoup plus efficace.

Il résulte de cet examen que ce n'est pas sur des combinaisons d'enclenchement qu'il faut compter, en général, pour éviter les accidents de fausse direction que nous comprenons dans le premier cas (*).

(*) La Commission n'ayant à s'occuper que des moyens de prévenir les collisions de trains, il ne sera pas question, dans ce rapport, du verrouillage des aiguilles en pointe et, en général,

RAPPORT DE LA COMMISSION.

l'inconvénient d'engendrer facilement la confusion se multiplient trop; de n'être efficaces que pour véhicules circulant à très faible vitesse, à cause du développement des voies sur lesquelles ils sont placés; d'être sans action sur les véhicules en dérive; enfin, d'être subordonnés dans leurs effets à l'attention et à l'obéissance des agents.

Les taquets, plaques tournantes ou aiguilles de sécurité donnent évidemment beaucoup plus de garanties, surtout par rapport aux manœuvres faites à bras ou à la machine. Les taquets seraient en général impuissants à arrêter un train ou une manœuvre à la machine; mais même dans ce cas, ils auraient encore l'avantage de laisser au moins une trace matérielle de l'infraction commise. Ce dernier avantage est obtenu avec les signaux si ceux-ci sont appuyés par des pétards.

Nous pensons qu'il y aurait grand intérêt à recourir à ces appareils, notamment aux aiguilles de sécurité, taquets et aux blocs d'arrêt, toutes les fois que c'est matériellement possible. On est bien dans l'usage actuel de placer des taquets sur les voies aboutissant aux voies principales par des aiguilles; mais jusqu'au présent on ne les a guère enclenchés avec les signaux. Outre, on en trouve rarement sur les traversées régulières, où cependant ils peuvent rendre de grands services. L'un de nous a examiné des appareils de ce genre placés à la gare de Bruxelles-Midi; ils consistent en un simple bloc de bois qui vient se poser sur un rail ou se retirer par l'action d'un levier placé dans la cabine de signaliste, et enclenché convenablement avec ceux des signaux et aiguilles. Ces blocs tiennent très bien de place et peuvent se loger partout; les agents de la gare de Bruxelles paraissent satisfaits de leur fonctionnement. La Commission pense qu'il y aurait grand intérêt à développer l'application en France.

DE PRÉVENIR LES

pour éviter les
général, intérêt
vie principale av
concourante, si

maintenant d'
qui peuvent se
dans lesquels
nt obligatoire.
ns de côté les
nt a déjà été p
1881, à savoir :
de bifurcation
, soit dans les g
de sortie des
le triage ;
de soudure des
de soudure d

in des cas non
se demander,
t être utile à u
r des inconvénie
tabli; cet exam
a circulation et
gare, puisque,
rielle du 22 no
manœuvre pou
nd lieu, il y au
et les inconvéni
et de l'importa
opportunité d'une
urgente.
nd sans peine qu
possibles. Nous

d'envisager les choses d'un point de vue assez général pour ne pas faire d'omissions importantes.

1. — LIGNES A DOUBLE VOIE.

1° *Aiguilles en pointe sur les voies principales.* .
Nous parlons, bien entendu, d'aiguilles prises en point par les trains dans leur circulation normale.

S'il s'agit d'un simple dédoublement des voies principales, sans qu'aucun des rameaux aille rencontrer une autre voie principale (Pl. VI, *fig. 1*), nous avons vu qu'en général il n'y a pas lieu à enclenchement.

Si, au contraire, l'un des rameaux vient rejoindre ou croiser une autre voie principale (*fig. 2*), il convient d'enclencher l'aiguille avec un signal placé sur cette dernière voie principale pour couvrir la jonction ou la traversée. De la sorte, l'accès de cette jonction ou traversée ne sera jamais permis que d'un côté à la fois, et sera interdit de l'autre, ou par un signal, ou matériellement par l'aiguille.

Si l'aiguille en pointe conduit à une voie de garage ou de service (*fig. 3*), elle devra, ainsi que nous l'avons dit, être faite normalement de manière à maintenir la continuité de la voie principale; il conviendra qu'elle se enclenchée avec le signal à distance, de manière que l'approche de l'aiguille soit interdite aux trains toutes les fois que cette continuité sera interrompue. En outre, on devra placer sur la voie latérale un signal ou un taquet ou tout autre moyen d'arrêt, compris aussi dans l'enclenchement. Il est à remarquer que, dans ce cas, un signal placé sur cette voie se présentera à l'opposé d'un signal placé sur la voie principale, et ne pourra être l'objet d'aucune confusion pour les mécaniciens circulant sur cette dernière voie.

L'intérêt d'une combinaison de ce genre est surtout co

RAPPORT DE LA COMMISSION.

Pour les signaux d'arrêt ainsi placés sur les voies principales, il pourra convenir d'employer une disposition particulière, soit comme forme, soit comme couleur, les mécaniciens circulant sur les voies principales ne sent pas les confondre avec ceux qui s'adressent Mais c'est là une question controversée, certains préfèrent n'avoir qu'un seul signe pour l'arrêt dans tous les cas.

Les taquets seraient insuffisants pour arrêter le et pourraient même, dans le cas où un train se me route sans que les mesures convenables eussent été occasionner un déraillement qui obstruerait la voie pale. On devra donc, pour les voies de garage dites, préférer l'un des autres procédés. Ils conv au contraire, très bien pour les voies affectées au intérieur des gares, sur lesquelles les manœuvres dehors du passage des trains, se font à bras ou à chevaux ; lorsqu'un train de passage doit y prendre laisser des wagons, la présence de ce train oblige ment à couvrir la gare ; c'est contre les manœuvres tuées en dehors de cette circonstance qu'il faut garantir la circulation des voies principales.

L'aiguille de sécurité, avec un cul-de-sac de longueur suffisante, est sans contredit le procédé le plus efficace ; on doit le recommander toutes les fois qu'il est applicable, mais les dispositions locales ne s'y prêtent pas toujours.

L'enclenchement de l'aiguille de sécurité présente un inconvénient que si un véhicule est refoulé de la voie principale vers cette aiguille sans que celle-ci ait été abaissée convenablement, la transmission est cassée. Cet accident n'apporte aucun trouble à la circulation sur les voies principales. On peut d'ailleurs le prévenir en combinant la manœuvre par un seul et même levier l'aiguille de la voie principale et celle du cul-de-sac.

L'aiguille de sécurité donne déjà de très grande

IR LES COLLISIONS DES TRAINS.

chement, à la condition d'en fixer
re qu'elle donne normalement la
ette disposition, on peut toujours
lon sans inconvénient. Mais il faut
s les fois qu'un train sort, et, pour
matériellement à couvrir au préalable

ces divers inconvénients, il serait
rimentât les dispositions qui ont été
her les leviers tout en permettant
talon.

donnant accès à des voies de ser-
ou rejoindre une autre voie princi-
cas se présente dans presque toutes
la voie du service local des marchan-
deux voies principales par des ai-
verse l'une d'elles obliquement. Il
ns de voies.

in certain intérêt à ce que chacune
enclenchée avec le signal à distance de
e est située; mais comme un train
it aborder l'aiguille qu'après avoir
; longtemps cette voie principale,
erte bien avant que l'aiguille inter-
ivre; cet enclenchement n'intéresse
sécurité. Ce qui est essentiel, c'est
nclenchée avec les signaux de l'autre
on évitera les accidents parfois ter-
it lorsqu'un train refoulé sur une de
truer l'autre voie principale au mo-
sse sans arrêt.

rendamment des causes de danger
s voies principales et vont intéresser
ame dans le cas précédent, de pro-

RAPPORT DE LA COMMISS

téger l'une et l'autre voie principale qui s'effectuent sur la voie accessoire.

pourra être protégée très utilement par une signalisation dont l'aiguille sera enclenchée avec un contrepois fixe (

Il est à remarquer que l'enclenchement d'une liaison ne peut gêner en rien les trains qui l'empruntent dans le cas d'une voie à voie unique.

En effet, rien n'est modifié en ce qui concerne les manœuvres qui empruntent leurs relations avec les trains circulant sur la voie principale. L'enclenchement assure la sécurité dans les conditions ordinaires et sans plus. Tout ce qu'il y a de changé, c'est, en principe, que la voie accessoire est interceptée; s'il y a sur la voie principale un train enclenché, il se trouve annulé; c'est, en principe, que sur l'autre voie, des trains marchent à l'arrêt. L'enclenchement ne rencontre aucun signal fixe. L'enclenchement est donc en partie superflu, en partie inutile. Il ne peut apporter aucun obstacle au mouve

5° *Traversées d'équerre (fig. 8).* — L'accès est ordinairement donné par des voies qui n'ont pas, en général, un développement suffisant pour qu'on puisse y placer utilement un signal. On peut protéger la voie principale au moyen d'un signal d'arrêt placé près de celle-ci et qui, par son aspect, ne permet le passage de la voie principale que lorsque la voie principale est couverte. Dans le cas contraire, d'après les conclusions ci-après, il n'est pas nécessaire d'appliquer l'enclenchement, ces appareils peuvent être disposés normalement de manière à ne pas gêner la traversée, et qu'il ne serait permis d'écarter la voie principale que même de faire passer un véhicule, po

RAPPORT DE I

Dans ce cas, la partie de la aiguilles de dédoublement conditions d'une ligne à double voies qui précèdent relative, et qui sont indépendantes de la circulation, s'appliquent donc sur la voie unique disposées et exploitées.

Mais il arrive au contraire d'une manière normale ou d'une manière affectée à la circulation des trains dans les deux sens. Dans ce cas, les aiguilles sont prises tantôt en pointe et tantôt en talon, selon ce que nous avons dit ci-dessus sur les voies principales, et les aiguilles en talon.

La même chose doit se dire pour les aiguilles de dérivation en dehors des aiguilles de dédoublement. Elles sont forcément prises tantôt en pointe et tantôt en talon. C'est surtout pour les trains de voyageurs qu'il importe d'éviter les conditions de circulation par un enclenchement automatique. L'aiguille d'arrivée de ce côté par la voie principale, l'aiguille donne bien la continuité de la ligne.

Quant aux aiguilles de dérivation, elles présentent une différence essentielle avec les aiguilles de dédoublement à la jonction de plusieurs lignes à double voie. Les aiguilles de dérivation sont abordées de la même manière que les aiguilles de dédoublement, en pointe si elles sont à la section en pointe, en talon si elles sont à la section en talon. Elles donnent à volonté l'une ou l'autre voie.

Les aiguilles de dédoublement, au contraire, sont prises en pointe ou en talon dans un certain sens, et elles marchent dans l'autre sens.

En général, ainsi que nous l'avons dit en commençant, elles doivent donner aux premiers toujours la même direction, qui est alors celle de gauche. C'est à quoi on pourvoit d'une manière très simple par l'emploi d'un contrepoids fixe qui donne invariablement cette direction, sans empêcher la sortie par l'autre voie des trains prenant l'aiguille par le talon. Cette disposition semble donner des garanties suffisantes, au moins lorsqu'on adapte à l'aiguille un appareil qui permet à la gare de s'assurer qu'elle est bien appliquée contre le rail. On ne pourrait alors donner une fausse direction qu'en tenant l'aiguille soulevée pendant tout le passage du train, ce qui suppose une volonté formelle. Avec cela, les mesures de précaution prescrites pour le croisement des trains, et, en général, pour empêcher la rencontre de trains marchant en sens contraire, semblent suffisantes pour garantir la sécurité sur ces aiguilles.

On peut aussi éviter les fausses directions en enclenchant l'aiguille avec le signal à distance de manière à ne permettre l'entrée des trains que lorsque l'aiguille est convenablement tournée. On peut en même temps ajouter un verrou, pour avoir la certitude que l'aiguille est bien appliquée. L'inconvénient de cette disposition, c'est la nécessité de manœuvrer l'aiguille chaque fois qu'un train la franchit par le talon, sous peine de briser la transmission. De là une complication dans le service et une chance d'accidents, sinon dangereux, du moins pouvant apporter un trouble dans la circulation.

Ici encore se fait sentir l'utilité d'un enclenchement qui n'empêche pas la prise en talon.

III

Nous nous sommes efforcés, dans ce qui précède, de formuler tous les cas dans lesquels des enclenchements pourraient être utiles et de dire quels devraient être les

RAPPORT DE LA COMMISSION.

appareils à enclencher. Reste à savoir s'il y a opportunité à le faire.

Nous avons vu déjà que les enclenchements ne sont toujours sans inconvénient pour les manœuvres pour la sécurité, soit parce qu'ils ne permettent pas de prendre les aiguilles en talon sans les avoir tournées préalablement, soit parce que les taquets et autres peuvent, s'ils ne sont pas manœuvrés en temps utile, donner sur les voies latérales des accidents de matériel susceptibles d'entraîner l'obstruction des voies principales.

Un inconvénient sérieux dans les gares de petite importance est la complication de personnel qu'entraîne l'enclenchement. Actuellement, après avoir couvert la voie principale, les agents peuvent, tournant une manœuvre, tourner les aiguilles au fur et à mesure des besoins. Avec des enclenchements qui exigent, en général, la réunion des leviers par groupes, il faut un homme qui reste aux leviers et ne peut participer à aucune manœuvre. Dès que la gare est assez importante pour avoir un service spécial d'aiguilleur, cet inconvénient n'existe plus, et avec un système de correspondance qui permette toujours à l'aiguilleur de bien comprendre la manœuvre à effectuer, il y a tout intérêt à ce qu'il puisse donner les voies nécessaires sans se déplacer.

Nous avons fait remarquer que les dispositions actuelles ne permettent pas toujours d'appliquer les voies de sécurité ou même de placer utilement des signaux. Les enclenchés, ou les blocs d'arrêt, qui n'en sont qu'une forme particulière, peuvent se placer partout; la Commission, après avoir exprimé son opinion au sujet de ces grands services qu'ils paraissent susceptibles de rendre, estime qu'ils n'ont pas encore été suffisamment étudiés par la pratique, en France du moins, pour pouvoir être l'objet d'une prescription administrative.

Enfin, nous avons fait remarquer que, dans les

RAPPORT DE LA COMMISSION

chargés de la manœuvre négligent de cette position. Elles ne peuvent donc pas servir aux aiguilles à contrepoids fixes dont nous ne devons pas nous passer, et doivent être comprises, quand il y a lieu, dans les combinaisons d'enclenchement.

Tenant compte de ces diverses considérations, et du caractère spécial que présente la circulation sur les voies, comme celles qui desservent les remises, la Commission croit devoir proposer les dispositions suivantes :

1° Dans toute gare où l'importance de la circulation est suffisante pour motiver l'emploi d'agents pour la manœuvre et d'une manière permanente aux aiguilles, on devra garantir les trains, en leur donnant la direction, d'autre part, contre les fausses directions, d'autre part, contre l'arrivée intempestive de véhicules provenant des remises, par le moyen d'enclenchements établis d'après les indications données dans le présent rapport et établissant la communication entre les aiguilles, signaux ou autres dispositifs sur les diverses voies, soit principales, soit accessoires.

2° On devra, dans tous les cas, protéger les voies principales par des enclenchements à leur entrée et à leur sortie, les voies donnant accès à des remises ou à des ateliers, à quatre machines; il en sera de même à l'égard des voies établies des garages en pleine voie.

3° Toutefois l'emploi de contrepoids fixes ou de dispositions équivalentes cadencées ou de dispositions équivalentes, au lieu d'aiguilles, la direction convenable, pour la sécurité de la circulation, pourra dans certains cas dispenser de les enclencher.

4° Dans les gares où il n'y a pas lieu de faire précéder, d'appliquer les enclenchements aux aiguilles formant jonction d'une voie principale et d'une voie d'accès, la voie doit être pourvue d'un contrepoids fixe cadencé ou d'une disposition équivalente.

ANALYSE
DES RAPPORTS OFFICIELS
SUR LES ACCIDENTS DE GRISOU
SURVENUS EN FRANCE
PENDANT L'ANNÉE 1881

Dressée par M. CHESNEAU, ingénieur au

La Commission d'étude des moyens pour prévenir les explosions de grisou a publié récemment (*Annales des mines* (*)), les premiers fascicules d'une analyse synoptique des rapports officiels sur les accidents de grisou en France, de 1817 à 1880, dressée par la Commission, par MM. Petitdidier et Chassin, ingénieurs au corps des mines. La Commission a pensé qu'il serait intéressant de continuer l'année ladite statistique, d'après le plan qui a été adopté, et c'est le travail relatif à l'année 1881 que nous publions aujourd'hui.

Les 16 explosions de grisou survenues pendant l'année 1881 ont fait 56 victimes, dont 23 tués. Parmi ces catastrophes, l'une a été particulièrement douloureuse pour le Corps des mines: dans le pagnac, le 28 mai, M. l'ingénieur des mines, M. Péri, avec le directeur de la houillère de Saint-Etienne, pendant qu'il faisait une enquête sur un accident de grisou arrivé trois jours auparavant, avait occasionné la mort d'un ouvrier.

(*) Voir *Annales des mines*, 1^{er} vol. de 1881, p. 593, et 2^e vol. de 1883, p. 67.

1

1

-

d

di

—

-

-

STATISTIQUE DES ACCIDENTS

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

2. — Concession

(Instituée

Nos d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers an fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
2	29 octobre	Fosse Renard.	»	7 Brûlés légère- ment.	6.835	Tonnes 1.384.460	Inconnues.	Tirage d'un coup de mine.	Cause fortuite.

3. — Concession

(Instituée par décret

3	22 octobre	Fosse Leforest	1 Brûlé	4 Brûlés assez griève- ment.	960	296.638	Petite accumu- lation de grisou au toit d'une ga- lerie montante.	Lampe de sûreté ouverte ou mal fermée.	Imprudence de l'une des victi- mes qui aura ou- vert sa lampe de sûreté pour pren- dre de l'huile ou bien qui l'aura mal fermée.
---	---------------	-------------------	------------	--	-----	---------	--	--	---

DE

—

d'

en

—

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

de

da

—

STATISTIQUE DES ACCIDENTS

1. — BASSIN DE VALENCIENNES.

S_1 - Concentration

[illegible]

2. — BASSIN D'HARDINGHEN.

1. — Concession

(Instituée par décret

2	432	87.319	Dégagement de gaz, par un trou de sonde ayant percé dans des chantiers grisouteux romblayés ou abandonnés	Lampes à son su.	
---	-----	--------	---	------------------	--

2. — BASSIN DE SAINT-ETIENNE.

2. — Concession

(Instituée par décret

N ^o d'ordre. 1	DATE de l'acci- dent. 2	LIEU de l'acci- dent. 3	NOMBRE d'ouvriers		Ouvriers au fond. 6	PRODUCTION annuelle de la mine. 7	CAUSES DE L'ACCIDENT		
			Tués. 4	Blessés. 5			Causes directes		Causes indirectes. 10
							de l'accumulation du gaz. 8	de l'inflam- mation du gaz. 9	
6	7 août	Puits du Cros.	•	1 Brûlé griève- ment.	431	173.590 Tonnes.	Petit dégagé- ment de grisou dans une galerie en remonte.	Lampe à feu nu.	Cause fortuite.

3. — Concession

(Instituée par décret

7	9 mai	Puits Catalin.	•	2 Brûlés dont 1 légère- ment.	1063	312.091	Cloche formée au toit d'un al- veau.	Flamme d'un coup de mine.	Imprudence de de l'un des ou- vriers qui, mal- gré les ordres qu'il venait de recevoir du gou- verneur, avait
---	-------	-------------------	---	--	------	---------	--	---------------------------------	---

DE GRISOU POUR 1881.

— Département de la Loire.

du Cros.

du 27 Octobre 1824).

OBSERVATIONS.

11

Indications générales. — L'aérage était suffisant.

On employait exclusivement des lampes à feu nu.

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient à l'avancement d'une remonte. À la fin de leur journée, il fut convenu avec le sous-gouverneur que l'un d'eux, le lendemain, qui était un dimanche, pour travailler à la réparation de certaines parties des

Le dimanche vers quatre heures du matin, l'ouvrier se rendait donc à son chantier avec quelques outils. Il avait pénétré environ d'une douzaine de mètres, lorsqu'il se vit enflammer. Renversé par la commotion, il put se relever et courir vers le plan incliné. Les aides l'aiderent à se débarrasser de ses vêtements qui étaient en feu. Il fut brûlé grièvement aux bras et aux jambes.

Remarques particulières. — La galerie où a eu lieu l'accident était en cours d'être percée, en vue de l'aérage, dans le niveau supérieur. Elle était en cul-de-sac, éloignée d'une dizaine de mètres du dernier passage d'air, et d'une longueur de 25^m ; bien qu'aérée par le plan incliné, elle n'était pas suffisamment aérée.

Depuis plus d'un demi-siècle que la mine du Cros était en exploitation, jamais on n'avait eu la présence de grison, ce qui explique l'emploi exclusif des lampes à feu nu. Le dégauchissement qui a précédé l'accident a donc été un fait exceptionnel, dû probablement à un changement qu'on avait remarqué dans l'allure de la couche, devenue beaucoup plus tendre et moelleuse à certains endroits. La veille de l'accident, le chantier avait été visité à 9 h. et à 10 h. par les gouverneurs chargés de cette visite avaient été jusqu'au front de taille avec leurs lampes sans rencontrer de grison.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Il a été décidé que, tous les matins, les ouvriers, une visite du chantier serait faite par le gouverneur qui serait muni d'une lampe à feu nu.

Le chantier où a eu lieu l'accident a été remblayé, et on y a suspendu toute exploitation. Le champ d'exploitation qui précède et qui se trouve en plein retour d'air, a été

de la Béraudière.

du 4 Novembre 1824).

Circonstances de l'accident. — On procédait depuis quelques jours au puits C d'un niveau d'exploitation pour permettre le passage des bennes, la couche exploitée devenant plus épaisse. Le travail touchait à sa fin et le 9 mai deux ouvriers furent commandés.

L'un d'eux après avoir mis le feu à un coup de mine, se retira près de son camarade à 25 mètres de distance, au moment où il arrivait près de ce dernier, l'explosion du lieu et fut suivie d'une flamme de grison qui les brûla tous deux dont l'un légèrement.

Remarques particulières. — Le matin de l'accident, le gouverneur avait constaté qu'il y avait un peu de grison dans le chantier, après avoir désigné les deux ouvriers

DE GRISOU POUR 1881.

a. — Département de la Loire.

de la Méraudière (suite).

OBSERVATIONS.

11

terminer le travail, il leur recommanda d'agir avec la plus grande précaution, et leur de faire partir eux-mêmes les coups de mine et d'aller chercher à cet effet un ou chargé de ce service.

Le coup de mine était à la sole du chantier à 5^m d'une cloche qui s'était formée, et l'accident. Il est probable qu'une certaine quantité de grisou avait dû s'y accumuler, mine l'a enflammé.

du Quartier-Gaillard.

17 Novembre 1824).

Indications générales. — La présence du grisou avait été constatée dans ce puits des Maronniers.

L'allumage des coups de mine était confié à un ouvrier spécialement chargé de ce

Circonstances de l'accident. — Deux ouvriers travaillaient à l'avancement de la 3^e souche, reliant les 2^e et 3^e niveaux; la présence du grisou ayant été signalée, ventilateur, mais la colonne de tuyaux étant devenue insuffisante, on dut procéder

Le 31 décembre l'un des deux ouvriers avait posé une première colonne de 4^m elle était insuffisante, un sous-gouverneur envoya chercher d'autres tuyaux et e d'inspection après avoir renvoyé les deux ouvriers qui n'étaient pas occupés, dans u

En attendant que les tuyaux fussent apportés, l'ouvrier chargé du travail ne vou temps, se mit à creuser une sous-cave, puis un tron de mine de 1^m de profondeur; ce à l'allumer avec de l'amadou celui-ci enflamma le gaz, qui le brûla assez fortemen reins.

Remarques particulières. — La victime a prétendu avoir constaté l'absence du cette précaution a été prise, elle ne l'a été que très superficiellement.

Le gouverneur savait parfaitement que les ouvriers allumaient eux-mêmes quelque il n'eût pas dû tolérer cet état de choses, la Direction ayant chargé de ce service un les accidents.

du Plat-de-Gier.

du 9 Mars 1850).

Indications générales. — L'aérage général de la mine était assez actif.

Le puits Saint-Privat exploite aux profondeurs de 836 et 883^m deux couches de grisouteuses.

Depuis 1873 l'emploi des lampes Mueseler était général dans cette partie de la min

Le charbon était dur et compact; l'abaissement nécessitait l'emploi de la poudre.

DE GRISOU POUR 1881.

— Département du Cantal.

de Lampret.

du 5 août 1886).

OBSERVATIONS.

41

Indications générales. — La concession de Lampret comprend deux couches et la petite couche, séparées par un banc de roche stérile. Deux galeries d'all étaient pénétrées, à l'est et à l'ouest d'un grand travers-banc amenant les chemins de fer d'Hygurande à Vendes. L'aérage naturel se faisait à l'est de la mine entrant par le puits, dit du sondage, suivait le travers-banc jusqu'à la galerie petite couche qu'il parcourait jusqu'à son extrémité Est, arrivait par une travers galerie d'allongement de la grande couche qu'il suivait jusqu'à sa rencontre avec par laquelle il sortait au jour. Mais suivant l'état de l'atmosphère et la température eut une marche inverse, et le renversement du courant avait lieu, avant l'août vingt-quatre heures.

Circumstances de l'accident. — La galerie d'allongement de la grande couche était stérile grisouteuse à 25^m de la traverse du retour d'air venant de la p du miner les ouvriers de lampes de sûreté et installer un ventilateur rejetant le g d'air naturel. Mais après avoir avancé de quelques mètres on dut s'arrêter, le abondant et l'on ferma le chantier par un barrage en planches, jusqu'à ce qu'on munication avec un puits voisin, le puits des Plattes. Les ouvriers repèrent l'or s'engager dans les chantiers à l'est de la grande descenderie, que le maître chaque jour. Un ouvrier ayant voulu se procurer un outil abandonné dans la à l'est de la descenderie, y pénétra avec une lampe à feu nu et à 20 mètres barrage, une explosion eut lieu qui lui fit des blessures paraissant peu graves cependant, peu de temps après qu'on l'eût retiré de la mine.

Remarques particulières. — Le lieu de l'accident était situé sur le retour qu'un ralentissement ou un renversement du courant d'air qu'on peut attribuer l'accident si peu abondant que le maître-minneur y avait fait le matin sa tournée avec une

Circumstances de l'accident. — Trois jours après l'accident précédent, M. Bonnefoy, s'étant rendu à la mine pour faire son enquête, y descendit à neuf heures de l'ingénieur des travaux, du maître-minneur, d'un ouvrier et d'un ingénieur tous munis de lampes de sûreté Mulseler. Arrivé au point où la victime du 25. lement brûlée, l'ingénieur des travaux souleva le capuchon de sa lampe Mallard, et constata la présence du grisou. M. Bonnefoy continua néanmoins suivi du maître-minneur et de l'ouvrier, les deux autres ingénieurs fermant la détonation eut lieu : M. Bonnefoy, le maître-minneur et l'ouvrier furent tués sur brûlés; l'ingénieur des travaux et l'ingénieur étranger, retirés vivants de la mine bout de quelques jours aux suites de leurs brûlures.

Remarques particulières. — Cette explosion, comme la première, a été attillation de grisou, résultant d'un trouble momentané dans l'aérage. La détonation a été très faible, et les dégâts matériels peu importants. Les lampes de sûreté, à grand soin, n'ont offert aucune trace d'altération.

Mesures prises à la suite de l'accident. — Les ouvriers ont tous été tués et la Direction de la mine a décidé l'installation d'un ventilateur sur le puits des Plattes actuellement avec les travaux de la grande couche.

EXPLOSION D'UN BOUILLEUR DANS UNE SCIERIE

L'explosion du bouilleur supérieur s'est produite le 29 décembre 1882, quelques instants après que le feu venait de quitter la chaudière pour aller consommer des débris de bois.

Ce bouilleur se composait de deux viroles réunies par des lignes de rivures simples à superposition, à l'avant par un bouchon en fonte où se trouvait une clef, et à l'arrière par une calotte en tôle.

Il s'est rompu en trois fragments : le premier, le bouchon de fonte et une petite portion de la première virole, ayant en gros une forme triangulaire ; le deuxième, une partie de la première virole ayant la forme d'un trapèze ; le troisième, la deuxième virole et la partie de la première virole qui se trouve devant la ligne de rivure longitudinale et à laquelle sont assemblées la calotte du fond postérieur et la partie de la première virole ayant une forme triangulaire.

Le premier fragment fut projeté en avant à une distance de 20 mètres ; le second est tombé à l'avant de la chaudière, et le troisième à l'arrière.

Le bouilleur inférieur est resté en place, et la tubulure de communication avec le bouilleur supérieur, projetée latéralement, est tombée à une distance de 4 mètres de l'emplacement qu'elle occupait, dans une position sensiblement parallèle à sa position primitive.

Il n'y a eu aucun accident de personnes, et les dégâts matériels, peu importants, ont consisté dans la destruction du massif du fourneau et de la toiture qui le recouvrait. La plus grande partie des matériaux ainsi déplacés, restés sur place sans se briser, ont pu être utilisés pour la construction d'un mur (dans le renversement d'un mur auquel était appuyé le massif du fourneau, et de la cheminée, haute de 15 mètres, dont le soubassement est resté intact sur une hauteur de 2^m,50).

D'après les déclarations du propriétaire et d'après les constatations faites au moment de l'explosion, l'eau était à son ni-

IR DANS UNE SCIERE

Trois ouvriers, agis
ne levier, travailler
elle s'ouvrit d'abor
métal céda sur un
s se ployer, et se l
cassante. Sur la p
abord résisté, le m
un grain brillant m
mal soudé et offra

re à un métal de
al soudé, aigre et c
pte d'une manière
is fines découper,
n certain nombre c
on, nous donnèrent

iait de 22 à 28 kilo
nent de rupture de

un métal de résista
llongement de rup
sant.

rs et les aciers la li
la moitié de la limit
deux quantités son
métal fatigué.

ettement la cause de
es tôles, quoique tu
pour résister à la
même à une pressio
d qu'un appareil :
raction et de dilatu
e, peut arriver à se
ervenir aucune cau

dans ces conditions, il participe, en quelque sorte, à la fragilité d'une feuille de verre, qui résiste bien à une pression assez élevée, s'exerçant d'une manière continue sur sa surface et qui se brise sous le moindre choc; les métaux aigres sont, si l'on peut s'exprimer ainsi, des métaux fragiles, destinés fatalement à se rompre sous l'influence de mouvements brusques.

Cet accident montre combien il importe aux constructeurs de se rendre compte des qualités des tôles qu'ils emploient, et combien ils doivent rechercher la douceur du métal.

Il ne suffit pas, ainsi que beaucoup se le figurent, que le métal supporte bien le travail de construction, et qu'il résiste à l'épreuve réglementaire d'une pression double de celle de sa marche normale; la charge des tôles, quelque médiocres qu'elles soient, reste toujours, dans ces conditions, bien inférieure à la limite d'élasticité.

On peut donc dire, sans craindre d'émettre une opinion paradoxale, que les constructeurs n'ont pas à se préoccuper de la résistance, mais qu'ils doivent s'attacher avant tout à employer des tôles douces, possédant un grand allongement, susceptibles de fournir des appareils doués d'une élasticité suffisante pour résister aux mouvements de dilatation et de contraction auxquels ils seront soumis.

Des essais par traction pour mesurer la ténacité et la ductilité du métal, certainement très utiles, ne sont cependant pas indispensables; des expériences pratiques, par ployage, emboutissage et poinçonnage, pouvant se faire sur les rognures de tôles et susceptibles d'être exécutées par tous les ouvriers employés dans les ateliers de chaudronnerie, sont suffisantes pour renseigner le constructeur sur la qualité des métaux qu'il met en œuvre.

Dans les ateliers importants seuls, il y aurait, au contraire, tout avantage à faire procéder à une réception spéciale à l'usine même; cette mesure est d'autant plus facile à

EXPLOSION D'UN BOUILLEUR DA

appliquer, qu'il existe près de des agents réceptionnaires, très sance des métaux, qui pourraie vail par les constructeurs.

Cette question a du reste attion des associations allemande appareils à vapeur, et leur syn semble des conditions qu'il y a destinées à la construction des

Ces conditions, au point de v sont résumées dans le tableau : de 0^m,150 de longueur.

Résistance à la rupture, sens du laminage.
Allongement, sens du laminage.
Résistance à la rupture, sens perpendicu
laminage.
Allongement, sens perpendiculaire au lami

Les échantillons doivent pouv ter de fentes apparentes sur la conditions données par le tabl sont indiqués en degrés.

ÉPAISSEUR en millimètres.	CORPS		END
	parallèle au laminage.	perpendi- culaire au laminage.	parallèle au laminag
6 - 7	50°	30°	80°
8 - 8	45	25	70
10 - 11	40	20	60
12 - 13	35	15	50
14 - 15	30	12	40
16 - 17	25	10	35
18 - 19	20	8	30
20 - 21	15	5	25

EXPLOSION D'UN BOUILLEUR DANS UNE SCIERIE A

Les différences assez notables, qui existent divers résultats, peuvent s'expliquer non seule les différences d'orientation, mais aussi et sur défaut d'homogénéité du métal, que nous avons dans les surfaces de cassures.

Ce tableau montre que la limite d'élasticité rapprochée de la ténacité, tandis que, dans les aciers, le premier chiffre est sensiblement la second.

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment conclure que le métal était fatigué.

En effet, on sait que les allongements élast. même dans la période de déformation, sensible proportionnels aux charges; la limite d'élasticité est sous laquelle commencent les allongements pl et à partir de laquelle les allongements totaux rapidement.

Un métal qui a été étiré de manière que d'élasticité ait été dépassée se comportera c les essais par traction, comme un nouveau c une limite d'élasticité supérieure à la limite pl précisément égale à la charge qui a produit la tion; il en résulte, comme conséquence nécessaire diminution de l'allongement de rupture.

Le rapprochement de la limite d'élasticité ténacité indique donc un métal fatigué, et ce résultat obtenu par diverses opérations physiques une tôle de chaudière, par un coup de feu.

Dans le cas présent, il y a lieu, comme nous montré, de rejeter cette dernière cause, et il faut d'admettre que l'altération s'est produite, en l'aigreur des tôles, dans l'opération du cintrage ont eu à subir.

. CH

NO

SV

L'EXPLOSION D'UNE CI
AUX FORGES D
(HAUTE-

La Commission centrale des
posé que l'explosion d'une cha
31 mars 1883 aux forges de
insertion aux *Annales des Pon*
les des Mines. L'extrait suiva
nieur en chef Trautmann rend

Extrait du rapport de M. l'ing

La forge de Marnaval est si
ville à Saint-Dizier et la Marn
de force motrice à l'usine. I
120 mètres de long, de l'est à
de 90 mètres : la toiture est u
tuiles et se compose de cinq
trouvent à chaque extrémité u
fours à puddler et une machi
pour chaque train. Au milieu,

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARNE).

Marne pour être amenée dans les bâches placées à fours pour le service de l'usine, pour refroidir les outils, etc. Immédiatement avant son entrée dans chaudière, le tuyau d'amenée d'eau porte un clapet et une vanne qu'on manœuvre au moyen d'un volant. Cette vanne sert à régler l'introduction de l'eau par le branchement particulier porte, de plus, une seconde vanne destinée à isoler, en cas de besoin, la conduite d'une chaudière quelconque de la conduite générale d'alimentation.

Pour parer à l'éventualité d'un dérangement accident empêchant la pompe de fonctionner, chaque chaudière est munie d'un injecteur aspirant dans un réservoir d'eau qui y est amenée, au moyen de tuyaux, du point indiqué plus haut.

Un ouvrier spécial, appelé alimenteur, est uniquement occupé à surveiller les flotteurs et les niveaux d'eau, et manœuvrer en conséquence les vannes réglant l'alimentation; quand il trouve deux fois de suite le flotteur d'une chaudière à la même position, il doit le palper pour vérifier de son bon fonctionnement. L'alimenteur, qui surveille aussi la pression, est placé sous le contrôle d'un maître qui vérifie également les niveaux d'eau; tous les deux sont sous les ordres d'un chef mécanicien.

Les chaudières verticales ne sont munies que d'un flotteur composé d'une meule en grès, pendue à l'extrémité d'un fil de laiton qui traverse le dessus de l'appareil au moyen d'un presse-étoupes ordinaire; une autre tige portant le contre-poids est reliée à celle qui porte le flotteur par une chaînette glissant sur deux poulies. Le flotteur et le contre-poids sont guidés, et ce dernier glisse en travers d'échelles graduées indiquant le niveau d'eau normal.

Du haut de chaque chaudière part un tuyau de 10 centimètres de diamètre, muni d'un robinet qui débouche dans une conduite générale de quinze centimètres, qui court sur toute la longueur de la halle et fixée aux poteaux.

séparent la deuxième de la troisième travée du hallage, à partir du midi ; c'est elle qui, au moyen de branchements, envoie la vapeur à toutes les machines.

Tel était l'ensemble des dispositions, pour ce qui concerne les appareils à vapeur, quand eut lieu l'explosion du 31 mars.

La chaudière verticale n° 5, placée dans l'extrémité est de la forge, fit explosion à huit heures du matin, quelque temps après le changement de poste des ouvriers, et quand la machine du puddlage n° II était arrêtée. Elle s'est divisée, à partir de 2^m,20 environ du bas, en un assez grand nombre de morceaux qui ont été lancés dans toutes les directions ; la maçonnerie entourant la chaudière a été projetée avec violence, et par suite de ces projections et de la grande production de vapeur, la toiture et la charpente de la halle ont été emportées et disloquées sur environ 900 mètres carrés de surface ; les conduites d'eau, de vapeur, ont été brisées, ployées, et à la vapeur de l'explosion venait encore s'ajouter celle des autres chaudières, la grande conduite de vapeur ayant été rompue à l'endroit de l'explosion. Autour de cette irruption de vapeur et de poussières brûlantes et sous une avalanche de briques, de tuiles, de débris de charpente, de fer, de fonte, se trouvaient réunis près de cent ouvriers au moment de reprendre leur travail journalier.

Le sauvetage a été immédiatement organisé par M. Defert, directeur de l'usine ; il s'est opéré dans des conditions très difficiles au milieu d'un nuage formé par la poussière soulevée et par l'énorme quantité de vapeur s'échappant de la conduite générale communiquant avec toutes les chaudières ; cependant, au bout de dix minutes, on parvint à fermer tous les robinets de prise de vapeur des chaudières. A onze heures, on avait la certitude qu'il ne restait plus personne sous les décombres.

Dix-sept personnes ont été trouvées mortes, la plupart

affreusement brûlées, et les membres ou la tête fracassés; elles furent déposées dans un des bureaux de l'usine. Trente-six, gravement atteintes, principalement brûlures et fractures compliquées, furent transportées à Saint-Dizier, quatorze à l'asile des aliénés, et vingt-deux à l'hospice, pour être soignées; trente-huit, moins gravement blessées, furent amenées à leur domicile à Marnaval. A l'hospice, six succombèrent le 1^{er} avril, et le même jour un des blessés de l'asile. Quant aux blessés traités à domicile, deux succombèrent le soir même du 31 mars, et un le 1^{er} avril. Une dernière victime, morte le 7 à l'hospice, vient s'ajouter à cette funèbre liste. En résumé, 28 morts et 63 blessés plus ou moins grièvement, dont quelques-uns ne sont pas encore hors de danger (*), telle a été la terrible conséquence de l'explosion du 31 mars, sans parler des dégâts matériels.

Il résulte des témoignages recueillis que tous les quinze jours chaque chaudière est piquée, nettoyée et godronnée pour empêcher l'adhérence des dépôts. La chaudière qui a éclaté a été examinée les 25 et 26 mars; elle était en bon état, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Le flotteur indiquait 10 centimètres d'eau. La pression était de 5^k,50 à 5^k,75, le timbre des chaudières étant à 6^k. Les machines du puddlage étaient arrêtées, mais celles des fers marchands étaient en mouvement.

Nous joignons à ce rapport un plan de l'usine (Pl. VI fig. 3) avec la désignation et l'emplacement des chaudières; disons de suite qu'au moment de l'explosion, les chaudières horizontales n^{os} 4 et 6 et la chaudière verticale n^o 8 n'étaient pas en feu.

La chaudière n^o 5 a un diamètre intérieur de 1^m,10, une hauteur de 15 mètres. A 0^m,50 de sa base elle porte un trou d'homme horizontal de 0^m,80 de diamètre et de 1^m,1

(*) A la date du rapport, 22 avril 1883.

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-

vers le bas en pleine tôle, jusqu'à la par la pièce *a* dont il sera question ci-après. Elle a suivi la rivure du haut, et elle s'est en pleine tôle en descendant jusqu'au trou. La moitié de virole *a* été brisée en deux morceaux venus tomber non loin du four, l'un en La moitié sud de la première virole ne s'est complètement et est venue se rabattre sur à puddler, où elle s'est encore fendue et de son choc contre les armatures des donne le développement du bas de la chaudière pièce rabattue. On y remarque deux réparations, la pièce *b* mise en 1878, la seconde ajoutée en 1882 à l'endroit du coup de feu.

Les deuxième, troisième et quatrième divisées en cinq morceaux et projetées en (Voir le plan, *fig. 3*, Pl. VII). Nous avons les épaisseurs des tôles et l'écartement exactement que possible. D'après ces mesures, la seconde et la première virole devaient avec de la tôle de 13 millimètres d'épaisseur avec de la tôle de 11 millimètres. Les rivets dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire en pleine, entre les rivets, est à peu près 1 mètre des rivets. Nous ferons remarquer que les rivures horizontales ont eu lieu surtout suivant la ligne au haut de la première et de la quatrième.

En examinant les débris de la chaudière, on voit qu'elle avait déjà subi plusieurs réparations être vieille; nous avons déjà cité deux feuilles qui avaient été placées aux coups de feu; d'un autre côté, les rivures horizontales n'étaient pas toutes sur la même ligne dans le bas et à la dernière virole du haut étaient à tête conique, tandis qu'ailleurs elles étaient plates ou bombées. Le trou d'homme du

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARNE).

pièce *b* vers l'ouest, à 0^m,60 plus haut que la précédente de 0^m,90 de long, 0^m,41 de haut, avec 13 millimètres d'épaisseur ; la pose de cette pièce doit correspondre à l'épreuve faite le 20 janvier 1878. L'explosion a décollé l'ancienne pièce du bas suivant la ligne de l'axe des rivets de la pièce *b* sur une longueur de 0^m,90, et, de là, la déchirure est allée rejoindre celle de la pièce *a*.

Quelles sont les causes certaines ou probables de l'explosion ?

Nous avons dit plus haut que, sur les dix-sept chaudières quatorze seulement étaient en feu le 31 mars, et que les machines à vapeur des trains marchands, celles des cylindres, la pompe d'alimentation, marchaient au moment de l'explosion, la machine du puddlage n° I était également en mouvement depuis environ une heure ; seule la machine du puddlage n° II était arrêtée depuis une demi-heure environ, et le moment n'était pas encore venu de la faire marcher. Il arrive assez souvent qu'une chaudière écaille au moment où on met en mouvement la machine qu'elle alimente ; cela vient sans doute de ce que, en ouvrant soudainement le robinet de prise de vapeur placé sur la chaudière, on amène une forte dépression de la tension de la vapeur, d'un côté parce qu'il faut remplir non seulement le cylindre, le tiroir et les conduites, mais aussi parce que tous ces organes, quand ils ont eu le temps de se refroidir, fonctionnent au début comme de véritables condenseurs ; il y a alors une forte et brusque dépression dans la chaudière, et comme l'eau n'a pas perdu sa température, il se fait une véritable explosion intérieure qui souvent suffit pour rompre la chaudière. Mais une autre cause ne nous paraît pas devoir être invoquée à Marnaval dans cette usine, les robinets de prise de vapeur sont placés sur les machines mêmes, à l'entrée dans les tiroirs, comme une seule conduite principale, communiquant avec toutes les chaudières, alimente les différentes machi-

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARNE).

plus de 7 kilogrammes, par suite de la hauteur d'eau normalement est de 12^m,50. Nous reviendrons plus sur ce point; constatons pour le moment que la pression de la vapeur ne dépassait pas celle pour laquelle la chaudière a été éprouvée.

Quant à attribuer l'explosion à ce qu'on appelle ébullition retardée, cette circonstance, qui d'ailleurs n'est pas généralement admise, ne peut être mise en avant à Marnaval, vu que la chaudière n° 5 n'a pas cessé au moment de rester sous feu, et que, de plus, elle a continuellement fourni de la vapeur.

La chaudière n'était-elle pas alimentée convenablement ?

Les dépositions des personnes que nous avons interrogées concordent toutes à dire que le flotteur du niveau fonctionnait bien immédiatement avant l'accident, que la vanne d'alimentation était entr'ouverte et que l'eau se tenait à peu au-dessus de son niveau normal. Cette question est évidemment très grave, aussi avons-nous été plusieurs fois à Marnaval pour interroger de nouveau les ouvriers employés et faire des recherches; nous n'avons rien découvert qui puisse nous autoriser à dire que la chaudière n'était pas alimentée. On a même dit que le flotteur était tombé au fond de la chaudière avant l'explosion, que, par suite, ne fonctionnant plus, le contre-poids qui maintenait constamment que la chaudière était pleine. En premier lieu, le flotteur a été projeté, au moment de l'explosion, contre le four à puddler à l'est, où il a été retrouvé à côté du clapet et du Giffard; s'il s'était détaché avant l'explosion, on l'aurait retrouvé sur le fond de la chaudière qui n'a pas bougé. D'un autre côté, si le flotteur était tombé, il est assez facile de voir qu'il aurait dû se détacher et rester ainsi pendant longtemps, et on s'en serait certainement aperçu par la surveillance telle qu'elle est organisée à Marnaval. Nous avons retrouvé la vanne d'alimentation de la

lories, c'est-à-dire plus de 63 fois plus de calories que dans le premier cas. En d'autres termes, le résultat final de l'explosion se traduit, dans le premier cas par 81 mètres cubes de vapeur à 1 atmosphère, et dans le second cas par 10 mètres cubes d'eau à 100 degrés et près de 2 700 mètres cubes de vapeur à une atmosphère. Ces calculs ne sont qu'approximatifs, mais ils suffisent néanmoins pour faire voir la grande différence : dans un cas de la vapeur qui se détend plus ou moins brusquement, et dans l'autre une énorme production de vapeur instantanément et de l'eau bouillante entraînée.

En résumé, en l'absence de toute preuve, et en présence des énormes dégâts matériels causés par l'explosion, nous ne pouvons admettre que la chaudière n'était pas alimentée.

Si on examine le plan de l'usine (Pl. VII, *fig. 3*), sur lequel sont indiqués les endroits où sont venus tomber les débris de la chaudière, on remarque qu'aucun des morceaux n'a été projeté vers le nord ; le morceau H, au moment de la projection, faisait partie du morceau F, et ce n'est que quand ce dernier est tombé sur la bêche d'eau froide, que la feuille H en a été détachée par le choc, ainsi que l'indique sa cassure, et est venue tomber en H. Il y a d'ailleurs d'autres feuilles qui portent des fissures et même des trous qui se sont produits au moment où la masse projetée est venue s'abattre sur des corps durs, tels que les rails, les bâches ou les armatures des fours.

Il est donc probable que la fissure initiale de la tôle a eu lieu dans la partie nord de la chaudière. Nous avons dit plus haut que dans le bas de la chaudière on apercevait, dans la tôle, des coups de feu aux endroits où la flamme sortant des fours vient frapper la chaudière (points α et β de la *fig. 2*). Ces coups de feu ne sont pas produits pour la première fois sans doute, puisqu'on a été obligé de placer des morceaux de tôle à ces endroits, et notamment en 1882

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARNE).

naître les petites fissures qui peuvent exister derrière

D'après nous, la déchirure initiale a eu lieu le long des rivets de la partie supérieure de la pièce α qui aurait été surchauffée. La pression en ce point, au moment de l'explosion, devait être de 7 kilogrammes environ. Sous cette pression et le brusque dégagement d'eau et de vapeur, la déchirure s'est prolongée à droite, à gauche et en haut de l'ancienne pièce de tôle. Cette pièce avait évidemment été soumise à un ou plusieurs coups de feu, on s'était contenté de la remplacer sur une petite surface, au lieu de la remplacer en entier, et les fuites ont pu facilement se propager sur cette pièce déjà altérée. La déchirure verticale s'est prolongée sur toute la génératrice de la première virole, et les deux quarts de cylindre de chaque côté de cette fente (pièces B et C) se sont ouverts comme les deux battants d'une porte, et ont été projetés l'un à l'est, l'autre à l'ouest, tandis que le demi-cylindre, du côté du milieu, a été rabattu sur les fours à puddler, par suite de la réaction de la vapeur s'échappant vers le nord. Les 2^e, 3^e et 4^e viroles ont été projetées à peu près de même, tandis que le haut, définitivement séparé du bas, a été lancé verticalement en l'air. Les briques du fourneau ont été projetées dans toutes les directions, mais principalement vers le nord, par suite du jet initial de vapeur qui est venu frapper.

On peut se demander si la vétusté de la chaudière a joué pour rien dans l'accident. Nous avons dit qu'elle avait été construite par Salarnier, de Paris, en 1859, et timbrée pour le régime de l'ordonnance de 1843, pour cinq atmosphères et demie. D'après cette ordonnance, l'épaisseur de la tôle pour pouvoir être timbrée à cette pression, est de 12 millimètres; c'est, en effet, l'épaisseur moyenne de la tôle de la chaudière n° 5 : 11 millimètres dans le haut et la partie moyenne et 13 dans le bas. Le décret de 1865 ayant imposé les épaisseurs obligatoires, la chaudière fut essai-

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARNE)

rivet d'une rivure horizontale. Les rivures inférieures devaient donc toujours être faites à deux rangs de l'endroit des coups de feu.

L'accident pouvait-il être évité? Nous le croyons.

Le haut de la pièce ajoutée α constituait évidemment ce qu'on peut appeler un point critique. En premier lieu, la petite pièce rapportée avec rivure à l'endroit du feu; en second lieu, la flamme du four n° 13 venait frapper la chaudière de face et sous un angle de plus de 45°; enfin, il y a une troisième cause qu'il convient de mentionner. Pendant la durée d'un puddlage, la température n'est pas toujours la même, il y a des moments où le travail demande moins de chaleur qu'à d'autres. Entre deux opérations de puddlage, il y a un arrêt pendant lequel le feu tombe, et puis on recommence brusquement; enfin, il y a toutes les douze heures une suspension de travail, pendant laquelle la température du four peut descendre jusqu'à 400 ou 500 degrés. Quand le nouveau poste arrive, elle est remontée à 1000 degrés et plus, et c'est précisément pendant ces suspensions que l'explosion a eu lieu. Avec les méthodes adoptées à Marnaval, la chaudière subit donc l'influence fâcheuse de ces variations rapides de température, d'où fréquence de coups de feu, variations de dilatation et contraction, et puis fissure de la chaudière, principalement aux rivures, et enfin, si on n'y porte pas remède à temps, explosion. Cette dépendance entre le chauffage des chaudières et le chauffage des fours est un des inconvénients des chaudières verticales; le chauffage du four conduit son feu seulement en vue du travail de puddlage, sans s'occuper des besoins ou des variations d'un chauffage rationnel de la chaudière à vapeur. Dans les fours à réchauffer, la température est en général plus élevée que dans ceux à puddler; aussi à Marnaval

AUX FORGES DE MARNAVAL (HAUTE-MARN

De ces conclusions nous citerons ici seulement les suivantes :

1° Protection des parties des chaudières situées sur le rampant, par l'établissement d'un revêtement en maçonnerie réfractaire éloigné de 8 à 10 centimètres de la surface des tôles ;

2° Des réparations convenablement exécutées et surveillées, en évitant de procéder par petites pièces et

Si ces sages conseils avaient été suivis à Marnaval, nous sommes convaincu que l'explosion eût été évitée. Ce n'est pas, à notre avis, à un défaut de surveillance qu'il faut attribuer l'accident, mais bien à une installation et à des choses défectueuses ; nous avons indiqué plus haut les causes principales qui ont amené l'explosion ; en résumé, d'un côté en entier, en 1882, la feuille du coup de feu avait été altérée, au lieu d'y rapporter une petite pièce et en construisant, d'un autre côté, le mur de défense qui faisait disparaître ou on atténuait autant que possible les dangers signalés.

À la suite de l'accident de Marnaval, l'Administration examinera s'il ne convient pas de transformer en prescriptions obligatoires les mesures indiquées ci-dessus par la Commission centrale des machines à vapeur : 1° remplacement de la feuille entière du coup de feu quand elle est altérée en partie seulement ; 2° construction d'un mur de défense entre le four et la chaudière, ce mur devant avoir d'un mètre environ le rampant du four.

Comme à Marnaval les chaudières verticales sont chauffées par deux ou trois fours, il serait préférable de entourer la chaudière d'une tourelle. D'un autre côté, malgré la tourelle, la tôle doit, dans chaque chaudière, quinzaine au moins, être visitée à l'endroit du coup de feu comme ailleurs, l'intervalle entre la tôle de la chaudière et la tourelle devrait donc être de 0^m,30 au moins qu'à chaque visite on ne démolisse en partie

NOTE SUR L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE VERTICALE, ETC.

re, ce qui ne doit pas avoir de grands inconvénients, nous semble que cette maçonnerie ne doit pas avoir une longue durée, et pourtant il faut qu'elle soit tenue en bon état, car si elle était crevassée de manière à permettre à des dards de flamme de venir frapper la chaudière, le remède serait pire que le mal.

Quant à la diminution de rendement en vapeur de la chaudière par suite de l'addition de cette tourelle, elle ne paraît être bien sensible, une fois en marche, mais lors de la mise en feu il y aura évidemment retard. D'ailleurs les considérations de rendement plus ou moins grand ne doivent pas entrer en ligne de compte quand il s'agit d'une question de sécurité.

Recommandations de la Commission centrale des machines à vapeur.

À la suite de la discussion qui a eu lieu au sujet de cette question, la Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 31 juillet 1885, a émis, sur la proposition du rapporteur, un avis dont une partie est reproduite ci-après :

« Les considérations exposées par M. l'ingénieur en chef Marnaval sont très dignes d'attention, il conclut à la recommandation de diverses mesures que l'on retrouve parmi celles qui ont été indiquées par la Commission centrale des machines à vapeur et insérées dans les *Annales des Mines*. Tous les accidents qui se sont présentés à Marnaval étaient prévus par les règlements, et prévenus par les conseils qui leur ont été donnés. Il y a donc lieu d'insister sur ces prudentes recommandations par une circulaire qui les rappellerait aux ingénieurs, chargés à leur tour d'appeler sur ce point l'attention des chefs d'industrie. »

RAPPORT (*)
SUR L'EXPLOSION D'UN CUVIER A 1

DANS UNE BLANCHISSERIE, A PARIS

Par M. LUUYT, ingénieur en chef des mines

Le 13 avril 1883, un cuvier à lessive a fait explosion dans la blanchisserie sise rue de Courcelles à Paris, occasionnant des blessures à plusieurs ouvriers.

M. l'ingénieur des mines Perrin, a constaté que le récipient de 350 litres de capacité, dans lequel se faisait le chauffage de la lessive, au lieu d'être placé à une certaine distance du cuvier, et relié avec lui par deux tuyaux de certaine longueur, l'un de jetée ou d'ascension et l'autre de retour, est placé sous le cuvier avec lequel il fait partie, n'en est séparé que par un couvercle formé d'une plaque de fonte de 15 millimètres d'épaisseur percée de deux orifices pourvus de clapets s'ouvrant du côté du cuvier; c'est par ces orifices que la lessive, montée par le tuyau de jetée central, s'élève dans le linge et refroidie en le traversant, retourne dans le récipient inférieur pour s'y réchauffer et recommencer le même trajet.

Dans la plupart des appareils de ce genre, on utilise la vapeur pour produire l'échauffement et la montée de la lessive.

(*) Ce rapport a été présenté à la Commission centrale des mines à vapeur dans sa séance du 13 octobre 1883.

RT SUR L'EXPLOSION D'UN CUVIER A LESSIVE

ont l'action est analogue à celle du Giffard : un jet d'eau arrivant du générateur est lancé verticalement en haut dans l'axe du tuyau de jetée; ce jet agit sur la lessive du récipient placé en contre-bas, et l'élève jusqu'à l'orifice supérieur du tuyau. Au début de l'opération, on peut ainsi faire agir sur le linge de la chaudière, qui ne s'échauffe que progressivement par le jet de vapeur condensée, et l'opération s'arrête lorsque la température atteint 90° environ, l'entraînement par le jet de vapeur cesse de se faire. Ce dispositif est appliqué aux huit autres cuiviers de la chaudière. Un seul est monté sans injecteur, il sert à chauffer le linge de cuisine, pour lequel la lessive est insuffisante; on a donc conservé la disposition de l'ancien à échauffer la lessive par barbotage de vapeur dans le récipient par un tuyau perforé jusqu'à ce qu'il atteigne une température légèrement supérieure à celle de l'eau, il se produise une tension de vapeur suffisante pour l'eau à monter par le tuyau de jetée et à se faire évaporer à l'orifice supérieur, tension que l'on peut évaluer à 1 centimètre carré, d'après la hauteur de cet équilibre au-dessus de la partie inférieure. Le diamètre intérieur du tuyau d'ascension est de 40 millimètres; il est renforcé par la pression du linge et contre les chocs accidentels par un fourreau de 80 millimètres. Tant qu'il ne se produit pas d'obstruction, circonstance qui ne paraît pas probable, le récipient est en communication avec l'extérieur par un moyen qui exclut toute pression effective appréciable : aussi ce récipient, comme tous les autres, n'est-il en grand nombre dans les lavoirs et dans les chaudières, n'était pas considéré comme soumis aux dispositions du titre V du décret du 30 avril 1880; il n'a ni été éprouvé, ni déclaré, ni pourvu d'une soupape de sûreté.

Enfin, une quantité de 800 kilog. de linge se trou-

DANS UNE BLANCHISSERIE A PARIS.

vait empilée comme d'habitude dans le cuvier, 80 de lessive étaient emmagasinés tant dans le récipient dans le fond du cuvier. L'ouvrier chargé de la manœuvre ouvrit le robinet de vapeur à 6 heures, et l'opération devait durer jusqu'à une heure, suivit son cours ordinaire. Cependant vers neuf heures, l'ouvrier s'aperçut que la lessive ne montait que difficilement et irrégulièrement, craignant un accident, il ferma le robinet d'admission. Quelques instants après, l'explosion se produisit; le couvercle en fonte du récipient était brisé en plusieurs morceaux, dont l'un, portant le tuyau de jetée, retombait dans le cuvier même, les autres étaient jetés, avec la grille et le linge qu'elle supportait, à la toiture jusque sur les constructions voisines; un ouvrier qui se tenait à 6 mètres de distance, était atteint par la vapeur et brûlé sur le côté; trois autres étaient légèrement contusionnés par la chute de la toiture.

En examinant le tuyau de jetée, on y trouva une quantité de fibres ligneuses agglomérées, constituant un tampon qui l'obstruait presque entièrement vers le milieu de sa longueur; ce tampon, jeté de côté par la suite de l'explosion, put être représenté à l'ingénieur. La présence de ce tampon dans le tuyau suffisait pour élever rapidement la pression dans le récipient, puisque les générateurs fonctionnant à 5^k,5 fournissaient de la vapeur à 4 kilogr. par centimètre carré au barboteur par un ajutage de 20 millimètres de diamètre intérieur. La pression totale exercée de haut sur le couvercle en fonte de 1^m,035 de diamètre intérieur (le diamètre supérieur du récipient étant de 0^m,90), ainsi s'élevait jusqu'à 25.500 kilogr., ou 54.000 kilogr. tenant compte de la surface annulaire du recouvrement. Le serrage des boulons n'étant sans doute pas bien serré, le couvercle en fonte, de 15 millimètres d'épaisseur, de forme presque plate, n'était pas en état de résister à une charge aussi forte.

L'EXPLOSION D'UN CUVIER A LESSIVE

es n'avaient pu que se détacher d'un lequel est posé le barboteur; l'expé-ue sous l'action de la lessive bouillante, e. Il était difficile de prévoir qu'un ; de la désagrégation progressive du rme et le volume précisément conve-té dans le tuyau de jetée et y produire z forte pour amener une explosion.

s sera désormais proscrit. D'après eule suite que paraisse comporter cet appareil n'était pas soumis aux pres-du 30 avril 1880, et qu'il n'y a eu n à relever.

ref reconnaît que l'appareil n'est pas une pression notable, et que, comme int par le titre V du décret du 30 avril a prouvé cependant qu'il peut se pro-dangereuse. Pour parer à cette éven-t devra porter une soupape chargée : 0^k,20 au plus; cette soupape pourra yau d'arrivée de vapeur.

précaution, il ne pourra en aucun cas sion notable, et l'appareil ne sera pas ient.

reproduit ces conclusions et a l'hon-vis suivant :

e vapeur, placé sous un cuvier et com-libre par le tuyau ascensionnel de la s accidentellement à une pression con-explosion. Un tampon de fibres de bois s le tuyau d'ascension, et avait permis ndre une pression voisine de celle des tera le retour d'un pareil accident, en ent ou sur le tuyau d'arrivée de vapeur eté, dont la charge sera à peine supé-

DANS UNE BLANCHISSERIE A PARIS.

rieure à celle de la colonne d'eau qui se forme dans le tuyau d'ascension, et qui ne pourra pas dépasser 0'10 par centimètre carré. De cette manière, le récipient est en communication avec l'atmosphère par des moyens qui excluent une pression effective notable, soit par le tuyau d'ascension, soit, en cas d'obstruction de ce tuyau, par une soupape de sûreté. Si rare que soit cette obstruction, il faut en supposer la production et en conjurer l'effet.

« A raison du grand nombre d'appareils de ce système employés dans les blanchisseries, il y a lieu d'insérer dans la relation de l'accident et l'avis de la Commission des Annales des Mines et dans les Annales des Ponts et Chaussées. »

Avis de la Commission centrale des machines à vapeur.

La Commission, après avoir entendu l'exposé, les observations et les conclusions qui précèdent et en avoir délibéré, adopte l'avis proposé par le rapporteur.

Le Secrétaire,
CLÉRAULT.

Le Président,
JACQUOT.

RECHERCHES
EXPÉRIMENTALES ET THÉORIQUES
SUR LA
COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX EXPLOSIFS

Par MM. MALLARD et LE CHATELIER,
Ingénieurs au corps des mines.

La Commission du grisou, dont nous faisons partie, nous avait confié le soin de chercher à élucider, par des recherches expérimentales convenables, les conditions de production des explosions de grisou et les divers phénomènes qui les accompagnent. On pouvait espérer qu'une semblable étude ne serait pas inutile pour se rapprocher du but que poursuivait la Commission.

Les principaux résultats de nos recherches ont été déjà publiés très sommairement dans le Recueil des travaux de la Commission, dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences (*), dans les Procès-verbaux de la Société de physique (**), dans le *Journal de physique* de M. d'Almeida (***), enfin dans le *Bulletin de la Société chimique* (****).

Nous commençons aujourd'hui, dans ce recueil, la publication intégrale de notre travail, que diverses circons-

(*) C. R. 91, 825 (1880)

(**) *Séances de la Soc. de phys.* (2 déc. 1881).

(***) *Journ. de phys.* 1882.

(****) *Bull. de la Soc. chim.*, 39, 2, 98, 268, 369 (1883).

tances indépendantes de notre volonté ont malheureusement retardée.

Nous n'avons pas limité nos recherches aux mélanges formés par l'air et le grisou ; nous les avons étendues aux principaux mélanges combustibles. Nous avons cru devoir ainsi profiter des appareils souvent coûteux que nous avons dû faire établir et de l'expérience que nous avons acquise de leur maniement, pour fournir à la science quelques données nouvelles sur des questions encore peu connues.

Pour les différents mélanges gazeux étudiés nous avons cherché à déterminer :

1° Les conditions nécessaires à la production de la combustion vive, c'est-à-dire la *température d'inflammation* ,

2° La *vitesse* avec laquelle l'inflammation provoquée en un point se *propage* dans la masse gazeuse, et en général les circonstances qui caractérisent cette propagation ;

3° La *pression* qui se produit dans un vase clos après la combustion du mélange gazeux qui y est enfermé ; d'où l'on peut déduire comme nous le verrons, la *loi du refroidissement* des gaz chauds placés dans une enceinte froide, la *température* produite par la *combustion*, et enfin la nature des variations qu'une température très élevée introduit dans les *chaleurs spécifiques* des gaz.

Chacune de ces trois parties fera l'objet d'un mémoire spécial.

Les questions que nous traitons, malgré l'importance considérable qu'elles présentent soit au point de vue théorique, soit au point de vue des applications, n'ont encore été abordées que par un très petit nombre d'observateurs. Nous espérons qu'on voudra bien avoir quelque indulgence pour notre travail, fort incomplet encore malgré le temps que nous y avons consacré, en raison de la nouveauté et des difficultés du sujet.

TEMPÉRATURES D'INFLAMMATION.

les nôtres, pour essayer de diminuer le nombre des de grisou, le conduisirent à la découverte de la de sûreté qui porte son nom et qui a rendu de si services dans l'exploitation des mines. Il trouva grisou ne s'enflamme pas au contact d'une barre chauffée non seulement au rouge, mais même au blar flammes seules, dont la température est supérieure de fusion du fer, ou le fer en combustion, produise effet. Il en résulte qu'une lampe à treillis mét. pourra s'échauffer au rouge par la combustion interne du gaz sans provoquer par son contact l'inflammation du mélange à l'extérieur; une expérience de plus d'un siècle a confirmé l'exactitude des résultats annoncés par cet illustre savant. Mais si de ces expériences on cherchait à déduire des chiffres précis de température d'inflammation, on s'exposerait à commettre de graves erreurs, comme nous le montrerons plus loin.

Davy a étendu ensuite ses recherches à un certain nombre d'autres gaz combustibles et les a rangés ainsi, d'après leur ordre d'inflammabilité croissante : méthane, éthylène, oxyde de carbone, hydrogène et phosphure d'hydrogène.

Pour ce dernier gaz, PhH^3 , il a donné une température précise d'inflammation, le nombre de 116 degrés.

Enfin il a reconnu que les gaz combustibles mélangés à l'air et chauffés dans des tubes fermés à une température un peu inférieure à celle d'inflammation, se comburent progressivement, en éprouvant une combustion lente qui n'est accompagnée d'aucun dégagement de lumière.

Depuis la publication du mémoire classique de Bunsen où sont consignés les résultats précédents, les seules recherches qui aient été faites sur ce sujet sont celles de Bunsen. Ce savant a donné une série de nombres de température d'inflammation pour des mélanges d'hydrogène et d'oxyde de carbone additionnés de divers gaz inertes, tels que l'azote, l'acide

RES D

rtier u
res va
'inflan

pas p
du ga
ue l'in
Davy
la coi
ertain
que le

échau.
se fai
ent po
ose d'
e méla
pératu
on et
is à dé
, mais
i d'aut
as sera
mélai
érature
i cela
volum

saire, s
second
grand p
n conti
res troi
lentes.
ats écu
).

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZ-POUR

bustion, mais qui peut manquer
cela a lieu par exemple pour le m

écipient, préalablement échauffé
le mélange, peut être plein d'un gaz
r rapidement; il peut aussi être
é ces deux méthodes; dans la pre
n *tube*, dans la seconde, c'était
ine.

Mode du tube. — Dans la première
composait (Pl. VIII, *fig.* 3, 4) d'un
pyromètre, destiné à la mesure
nt placés à côté l'un de l'autre da
éfractaire qui était chauffé par u
oi du pétrole comme combustible p
la température par une simple m
gaz d'éclairage eût été préférable
pareil nous pensions avoir à mes
aucoup plus élevées que celles qu
s.

ube en porcelaine était précédé d
ne diamètre, dans lequel on v
lorsqu'il y avait inflammation.
ons on arrêtait la flamme entre l
gaz au moyen d'un joint hydraul
ir renversé plongeant dans une
l de laquelle on faisait arriver le
bulle. Avec les mélanges combu
flamme venait s'éteindre tranquille
; mais pour les mélanges conte
squels se développait généraleme
, l'entonnoir était brisé à chaque

voir le deuxième mémoire *infra*, p. 335

TEMPÉRATURES D'INFLAMMATION.

aussi la cuve renfermant l'eau. Il fallait alors e tout de linges mouillés pour se préserver des éclat

Pour faire une expérience nous procédions de suivante.

Le tube en terre était chauffé par la flamm troie dont l'écoulement était maintenu bien cor bout d'un certain temps, la température accus pyromètre étant devenue stationnaire, le mélange était brusquement introduit en quantité suffi purger complètement d'air le tube de porcelain sons qu'une flamme ait paru dans le tube en ve première expérience nous apprenait que la tempé tube était certainement supérieure à celle d'infla Nous faisons alors une seconde expérience sembla avoir laissé baisser la température du tube d'un quantité, puis une troisième, une quatrième, etc. l vions ainsi non pas à déterminer exactement la rature d'inflammation, mais à la comprendre, cor l'avons dit plus haut, entre des limites d'autant serrées que le nombre d'expériences avait été p déorable.

En faisant un nombre d'expériences suffisant, t théoriquement arriver par cette méthode à ne lai suster qu'une incertitude très faible sur le résul ché. Malheureusement il arrive en réalité que certain intervalle de température on obtient d tats contradictoires d'une expérience à l'autre; c' que pour une même température accusée par mètre, tantôt il y a, tantôt il n'y a pas d'infla Cette méthode d'expérimentation comporte, en grave cause d'erreur. Par suite de la dissymétrie fage, le tube et le pyromètre et même les c parties de ces deux appareils ne sont jamais à température. L'incertitude résultant de cette caus être aussi de quelques autres qui ont pu nous

TEMPÉRATURES D'INFLAMMA

On a :

$$\frac{V.H}{273+t} = U \cdot \frac{1+kT}{1+kt} \cdot \frac{H-h}{273+T} +$$

Cette formule peut être simplifiée en tain nombre de termes suffisamment pe tions où nous opérons (*).

On arrive ainsi, toute réduction faite

$$\frac{273+T}{273+t} = \frac{U}{V-u} \cdot \frac{760-h}{760} \cdot (1 +$$

On calcule d'abord T en négligeant $k(T-t)$ et on fait après coup la correc

Pour reconnaître si l'inflammation se nous avons utilisé la contraction qui a binaison de la plupart des mélanges , fait une mesure de température en lais pur dans la cornue du pyromètre , noi une expérience en laissant rentrer le Le volume du mélange aspiré dans la co ou plus grand que celui de l'air suiv ou non combustion.

On ne peut ici, comme dans la pren liser la vue directe de la flamme, pa peut traverser le tube capillaire du j cédé d'expérimentation ne peut donc mélanges gazeux, tels que les mélange qui ne se contractent pas après combi dû pour ceux-là nous contenter des exp le tube.

(*) Les valeurs numériques des éléments d les suivants :

$$\begin{aligned} U &= 60^{**}, \\ u &= 1^{**}, \\ h &= 15^{**}. \end{aligned}$$

Pour mesurer une température d'inflammation on procède, comme avec la première méthode, en déterminant des limites supérieures et inférieures aussi rapprochées que possible. On arrive ainsi à des résultats très concordants d'une série d'expériences à une autre. Nous donnerons comme exemple les séries d'expériences faites sur le mélange d'hydrogène et d'air; les limites sont plus ou moins resserrées suivant le nombre d'expériences faites chaque fois, mais elles renferment à peu près toutes un point commun qui donne la température d'inflammation cherchée.

Série d'expérience.	Limite inférieure.	Limite supérieure.
n° 1	540	555
2	552	577
3	557	562
4	539	552
• 5	552	557
6	552	559

Le point commun, c'est-à-dire la température d'inflammation déduite de ces expériences est donc d'environ 555°. Ce chiffre est en dehors, il est vrai, des limites de deux séries d'expériences, mais l'écart est seulement de 2°, c'est-à-dire de l'ordre des erreurs possibles sur les mesures de température.

Les erreurs accidentelles que comporte cette méthode sont donc très faibles, mais on pouvait redouter des erreurs systématiques plus considérables résultant soit de la présence d'une petite quantité d'air laissée dans la cornue : 2 p. 100 du volume total (nous ne faisons le vide qu'avec une trompe à eau pour aller plus vite), soit des variations de pression qu'éprouve le gaz pendant le remplissage de la cornue.

En réalité, ces causes d'erreurs sont négligeables. La présence de l'air en plus ou moins grande proportion ne modifie pas la température d'inflammation; cela résulte

TEMPÉRATURES D'INFLAMMATION.

très nettement des expériences que nous donnons loin. Les variations de pression ne paraissent pas avoir d'influence, car des expériences comparatives faites dans le tube, où la pression ne change pas, ont donné pour les mélanges d'hydrogène et d'air les limites 550° — 560° qui comprennent, aussi bien qu'on peut le désirer, la température de 555° trouvée plus haut.

En général, nous n'avons pas fait un nombre aussi grand d'expériences sur chaque mélange gazeux, et les limites extrêmes que nous donnons sont assez écartées. Pour déterminer les limites, autant que nous l'avons fait avec l'hydrogène, il faudrait pouvoir consacrer à ces expériences un temps considérable. Des tâtonnements très longs sont en effet nécessaires pour arriver à régler un four à gaz à la température que l'on se donne d'avance.

Nous avons employé le même appareil pour faire quelques recherches sur les combustions lentes. Dans ces cas la température était donnée par le thermomètre à air placé à côté de la chambre de combustion. Après y avoir fait le vide on mettait celle-ci en communication avec l'éprouvette graduée contenant le mélange gazeux et on la comprimait progressivement. Le volume du gaz contenu dans l'éprouvette continuait à diminuer lentement par suite de la contraction qui accompagnait la combustion du mélange gazeux introduit dans la cornue. La mesure de la diminution de volume donnait la vitesse de la combustion lente.

III. — Résultats des expériences.

Les tableaux suivants donnent les résultats des diverses séries d'expériences que nous avons faites. Un tableau spécial est consacré à chacun des gaz combustibles que nous avons expérimentés. Nos mélanges gazeux ont toujours été préparés sur l'eau, de sorte qu'ils étaient à peu près saturés d'humidité. Les proportions des divers gaz sont toujours rapportées à 100 vol. de mélange total.

BUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

xpériences sur l'hydrogène.

ériences, sauf une, ont été faites dans le
 'y a jamais eu de retard appréciable à
 celle-ci s'est toujours produite pendant la
 nde que nécessitait le remplissage de la
 ètre.

GAZEUX.		LIMITE		OBSERVATIONS.
O.	CO ² .	infé- rieure.	supé- rieure	
"	"	540	555	Expérience faite dans le tube.
"	"	552	577	
"	"	557	562	
"	"	539	552	
"	"	552	537	
"	"	552	559	
"	"	550	560	
"	"	530	570	
15	"	537	570	
Id.	"	560	572	
30	"	552	569	
65	"	517	547	
Id.	"	521	532	
15	50	557	562	La contraction observée ne correspond qu'à la combustion des deux tiers de la masse gazeuse. Combustion complète. La moitié seulement de la masse gazeuse a brûlé.
Id.	Id.	562	562	
Id.	Id.	544	544	
21	30	582	587	
Id.	Id.	560	570	
Id.	Id.	590	595	

ences sur l'oxyde de carbone.

s comme celles sur l'hydrogène ont été
 nue du pyromètre. La combustion, quand
 e, a toujours été immédiate.

NUMÉ- ROS	MÉLANGE GAZEUX.				LIMITE		OBSERVATIONS.
	CO.	Air.	O.	CO ₂ .	infé- rieure.	supé- rieure.	
1	30	70	"	"	630	660	Expérience faite dans le tube.
2	Id.	Id.	"	"	630	660	
3	Id.	Id.	"	"	"	657	
4	Id.	Id.	"	"	625	640	
1	15	35	"	50	715	725	
1	85	"	15	"	630	650	
1	70	"	30	"	600	650	
2	Id.	"	Id.	"	630	660	
3	Id.	"	Id.	"	645	670	
4	Id.	"	Id.	"	645	655	
1	30	"	70	"	650	680	
	35	"	15	50	695	715	

Expériences sur le formène ou grisou.

NUMÉ- ROS.	MÉLANGE GAZEUX.			LIMITE		OBSERVATIONS.
	C ₂ H ₄ .	Air.	O.	infé- rieure.	supé- rieure.	
1	10	90	"	730°	760°	Ces quatre expériences ont été faites dans le tube; la combustion n'a eu lieu qu'au bout d'une dizaine de secondes — Le formène avait été préparé à l'acétate de soude et très soigneusement purifié. Grisou recueilli aux mines d'Anzi sur un soufflard se dégageant d'une flaqué d'eau.
2	Id.	Id.	"	770	790	
3	Id.	Id.	"	670	690	
4	Id.	Id.	"	640	680	
1	30	"	70	670	690	Expériences dans le tube. — Formène préparé à l'acétate. — Explosion extrêmement violente se produisant après 2 secondes environ. — La flamme remonte à travers le tube capillaire, et l'explosion va faire sauter tous les tubes en caoutchouc avec un bruit strident. — On est ainsi averti de combustion qui n'est accompagnée d'aucun changement de volume. Même retard dans l'inflammation que précédemment.
2	Id.	"	Id.	730	760	
3	Id.	"	Id.	600	650	
1	70	"	30	640	680	Expérience faite dans le pyromètre — La combustion de ce mélange est accompagnée d'une dilatation considérable — Le retard à l'inflammation est de 2 secondes environ.

Combustion lente. — Nous avons fait quelques expériences sur la combustion lente des mélanges précédents pour déterminer la vitesse de ce phénomène à différentes températures.

Le mélange tonnant $\text{CO} + \text{O}$, dont la température d'inflammation, d'après les expériences rapportées plus haut, est voisine de 650° , commence à se combiner avec une vitesse appréciable à la température de 400° . A 477° la proportion du mélange combiné dans 1 seconde a été de $\frac{1}{1.000}$, et à 615° de $\frac{1,5}{1.000}$. Les mélanges d'hydrogène nous ont donné des résultats analogues.

IV. — Discussion des résultats des expériences.

Combustion lente. — Les chiffres donnés plus haut semblent indiquer que, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, il y a discontinuité entre les phénomènes de combustion lente et ceux de combustion vive, c'est-à-dire que, pour des températures croissantes, la vitesse de la combustion lente ne va pas en croissant régulièrement jusqu'à devenir très grande et presque instantanée à la température d'inflammation proprement dite. Cette vitesse reste au contraire toujours très faible au-dessous de la température d'inflammation, et devient brusquement très considérable dès que cette température est atteinte.

Ce fait s'explique très simplement dans la théorie mécanique des gaz. L'existence d'une combustion lente résulte de ce que, dans une masse gazeuse en équilibre de température, les différentes molécules possèdent à un moment donné des quantités de forces vives différentes suivant les chocs qu'elles viennent de recevoir et, par suite, ne sont pas réellement à la même température. Un certain nombre d'entre elles peuvent être momentanément portées

à une température égale ou supérieure à celle d'inflammation et devenir aptes à se combiner. Mais la quantité de chaleur dégagée par la combinaison de ces molécules ne suffit pas à provoquer une combustion générale parce qu'elle se répartissant entre un très grand nombre de molécules avoisinantes, elle chauffe très peu chacune d'elles; de sorte qu'il n'y a pas propagation de l'inflammation. C'est un phénomène analogue à celui que l'on observe en essayant d'allumer un mélange gazeux au moyen d'une étincelle électrique. Cette étincelle, malgré sa température élevée, ne détermine l'inflammation que lorsqu'elle possède un volume suffisant.

Le même phénomène persiste tant que le nombre des molécules portées à la température d'inflammation n'est pas suffisamment considérable, c'est-à-dire tant que l'écart entre la température moyenne du gaz et celle d'inflammation n'est pas suffisamment petit. Lorsque cette condition est remplie, il y a propagation de la combinaison dans toute la masse, c'est-à-dire combustion vive et instantanée.

Température d'inflammation. — Nos expériences montrent que l'addition à un mélange tonnant de gaz étrangers, ou de l'un des deux gaz constituants ne modifie qu'un très peu, ou même pas du tout dans certains cas, sa température d'inflammation. Ainsi l'azote n'a paru avoir aucune influence sur les mélanges combustibles que formés avec l'oxygène les trois gaz expérimentés, hydrogène, oxyde de carbone et formène. Il en a été de même pour ces trois gaz combustibles ajoutés chacun à leur mélange tonnant. L'oxygène en excès semble abaisser d'un vingtaine de degrés la température d'inflammation de l'hydrogène; il ne produit aucun effet semblable avec l'oxyde de carbone. L'acide carbonique, au contraire, a produit une élévation très nette quoique peu considérable, 50° environ.

TEMPÉRATURES D'INFLAMMATION.

Toutes ces discordances proviennent de ce que la combustion du formène présente une particularité cap que nous avons reconnue au cours de nos recherches sur laquelle nous appellerons particulièrement l'attention.

Tandis que les mélanges explosifs formés par l'hydrogène ou l'oxyde de carbone s'enflamment immédiatement dès qu'ils sont portés à la température convenable, dans lesquels le formène est l'élément combustible, il entre en combustion vive qu'au bout d'un certain retard et lorsqu'ils ont été maintenus pendant un certain nombre de secondes à une température égale ou supérieure à 650°.

Ce retard à l'inflammation s'est élevé à une dizaine de secondes environ pour les mélanges de formène et dans les environs de 650°. Il diminue à mesure que croît la température à laquelle on porte le gaz, et il ne paraît pas sembler appréciable vers 1000°. Il diminue encore à égalité de température, lorsqu'on remplace l'air par l'oxygène.

De là résultent sans doute les incertitudes qu'ont présentées les expériences faites avec le tube. Le mélange gazeux, ne faisant que traverser le tube, n'avait pu produire l'effet le temps de s'enflammer lorsque la vitesse d'écoulement était trop grande, ou lorsque la température du gaz n'était pas suffisamment élevée au-dessus de la température de combustion. La température qui produisait l'inflammation dépendait ainsi des conditions variables de l'expérience.

Nous avons donc été forcés d'abandonner les expériences faites avec le tube et de nous contenter de celles qui ont été faites dans le pyromètre. Il est vrai que celles-ci ont été faites avec des mélanges contenant exclusivement l'oxygène comme gaz comburant, car avec l'air l'inflammation ne se manifeste par aucun signe extérieur. Mais, comme il résulte des lois établies avec d'autres mélanges,

différence que la quantité de vapeur d'eau existant dans mélange gazeux à la température ordinaire serait toujours insuffisante pour que la combustion vive prit immédiatement naissance. La combustion se ferait d'abord lentement, mais comme elle accroitrait sans cesse, à cause la nature du gaz combustible, la quantité de vapeur d'eau il arriverait un moment où la combustion vive prendrait naissance. Ce moment se ferait d'autant plus attendre, et retard à l'inflammation serait d'autant plus considérable que la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour produire la combustion vive serait plus grande. Par analogie avec ce qui a lieu pour l'oxyde de carbone, on devrait alors admettre que l'addition d'azote augmenterait le retard à l'inflammation, et nous avons vu en effet que ce retard est beaucoup plus grand pour les mélanges de formène d'air que pour ceux de formène et d'oxygène.

Quoiqu'il en soit de cette explication, que nous ne proposons qu'avec réserve, faute d'avoir pu en vérifier expérimentalement l'exactitude, l'existence du retard à l'inflammation pour les mélanges dans lesquels le formène est le gaz combustible, est incontestable. Ce retard donne immédiatement la raison de ce fait, observé par Davy, d'où l'on a déduit la température d'inflammation généralement admise pour le formène, qu'une barre de fer rouge à une température bien supérieure à 650° , plongée dans un mélange de grisou et d'air, ne suffit pas à l'enflammer. La tranche gazeuse, immédiatement en contact avec la barre de fer, se met bien en équilibre de température avec elle; mais par suite de son échauffement elle diminue de densité, s'élève et va se mêler de nouveau au reste de la masse gazeuse qui la refroidit immédiatement. La fraction de seconde pendant laquelle elle a été chauffée a été insuffisante pour provoquer son inflammation.

Si cette explication est la vraie, tout artifice s'opposant à la circulation du gaz doit rendre l'inflammation possible.

C'est en effet ce que l'expérience suivante nous a montré d'une façon extrêmement nette. Nous avons pris comme morceau de fer chauffé au rouge un petit creuset de fonte, placé verticalement, l'ouverture en bas, et nous avons fait arriver en dessous par un tube de dégagement le mélange de formène et d'air. Les gaz les plus chauds vont ainsi s'accumuler à la partie supérieure de la cavité du creuset et, une fois arrivés là, ne peuvent plus en sortir. Dans ces conditions nous avons obtenu l'inflammation du mélange de formène et d'air en chauffant le creuset seulement à un rouge très modéré. On observe encore un retard de plusieurs secondes à l'inflammation comme dans les expériences précédentes. En retournant au contraire le creuset l'ouverture en haut, et faisant toujours arriver le gaz au-dessous, c'est-à-dire cette fois sur la partie convexe, l'inflammation ne s'est jamais produite.

Il découle immédiatement de ce fait une conséquence intéressante pour le mineur. L'impossibilité de provoquer des explosions de grisou avec des corps portés seulement à la température rouge, tels que treillis métalliques de lampe, charbon de bois, cigare, etc., est beaucoup moins absolue qu'on ne le croyait jusqu'ici. Si en effet la circulation du gaz autour de ces objets est en général assez rapide pour ne pas donner à l'inflammation le temps de se produire, on peut cependant concevoir une infinité de circonstances dans lesquelles le gaz pourra rester quelques instants en contact avec de semblables sources de chaleur et par suite s'enflammer. L'inflammation du grisou dépend donc de deux facteurs distincts : la *température* et le *temps*, dont chacun d'eux doit être d'autant plus considérable que l'autre est plus faible.

V. — Résumé.

En résumé nos recherches nous permettent de formuler les conclusions suivantes :

La température d'inflammation peut être fixée à

555°	pour le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène ;
655°	— d'oxyde de carbone et d'oxygène,
650°	— de formène et d'oxygène.

L'addition au gaz tonnant d'un volume même considérable de gaz inertes modifie peu ou point la température d'inflammation.

Cependant avec les mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène, l'addition d'une quantité notable d'acide carbonique paraît élever cette température d'une manière sensible ; un volume d'acide carbonique ajouté à un volume de mélange tonnant porte la température d'inflammation de 655° à 700°.

Pour les mélanges dans lesquels l'hydrogène et l'oxyde de carbone sont les éléments comburants, la combustion se produit dès que le mélange atteint la température d'inflammation.

Il en est tout autrement pour le formène, qu'il est permis d'assimiler au grisou. Les mélanges formés par ce gaz avec l'air ou l'oxygène ne brûlent qu'après avoir été portés durant un certain temps (qui peut atteindre une dizaine de secondes) à une température égale ou supérieure à celle d'inflammation. Le retard à l'inflammation est d'autant plus considérable que l'excès de la température du gaz sur celle d'inflammation est moins grand, et que la proportion de gaz inertes mélangés au gaz tonnant est plus grande.

Cette dernière particularité explique pourquoi, conformément aux expériences de Davy, une barre de fer rouge, bien qu'à une température supérieure à 650°, n'enflamme pas un mélange explosif de grisou. Dans les conditions ordinaires, en effet, le gaz, circulant librement autour du fer chaud, ne reste pas exposé assez longtemps à la température de celui-ci pour pouvoir s'enflammer. En s'opposant à cette circulation du gaz, on provoque aisément la combustion du mélange gazeux :

ANGES GAZEUX.

CHES

T THÉORIQUES

S GAZEUX EXPLOSIFS

LE CHATELIER,
des mines.

—
.
MÉMOIRE

ATION DE LA FLAMME
ES GAZEUX.

suffisamment combustible,
n certain point par une
ie, peut s'étendre progres-
ous nous proposons, dans
régissent la propagation
ulièrement de déterminer
fectue dans les mélanges

ique.

Davy que l'on retrouve à
nt la propagation de l'in-
ne mesure précise, il re-

connut (*) que la flamme du mélange le plus combustible de grisou et d'air met moins d'une seconde à traverser un tube d'un pied de long. Il fit enfin l'observation capitale et de laquelle son génie devait tirer la découverte de la lampe de sûreté, que des tubes étroits, des toiles métalliques suffisamment serrées, ne se laissent pas traverser par la flamme dans la plupart des mélanges où l'air est l'élément comburant.

BUNSEN (**), au cours de ses expériences sur les températures de combustion des mélanges gazeux, chercha à déterminer la vitesse de propagation du mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène ; il trouva le chiffre considérable de 35 mètres par seconde.

La méthode qu'il a employée consiste à faire écouler le mélange gazeux par un orifice en mince paroi, à allumer le jet de gaz ainsi obtenu et à réduire ensuite progressivement sa vitesse jusqu'au moment où la flamme rentre dans le réservoir par l'orifice en remontant le courant gazeux. En admettant qu'à ce moment il y a égalité entre la vitesse de propagation de la flamme et la vitesse d'écoulement du gaz qui peut se mesurer directement, on en déduit la première.

MM. SCHLÖESING et DE MONDÉSIR ont fait un travail d'ensemble considérable sur le sujet qui nous occupe ; ils n'ont malheureusement jamais publié les résultats de leurs recherches ; elles ne sont connues que par les communications verbales qu'ils en ont obligeamment faites à un grand nombre de personnes (***).

La méthode qu'ils ont suivie consiste à enfermer le :

(*) Sur l'air inflammable des mines de charbon, *Soc. royale de Londres*, 9 nov. 1815 ; *Ann. de chim. et de phys.*, traduction par Chaptal. Mémoires sur la flamme. *Ann. de chim. et phys.*, 1816 t. I, p. 136, 1817, t. IV, p. 260 et 357.

(**) *Pogg. Ann.* 1866, t. 131., p. 161.

(***) H. S. Claire Deville. *Leçon sur la dissociation*, p. 46.

1. \

verre fermé, à
feu, par l'ex-
ur à secondes
fixes. Les ex-
mélanges com-
dans lesquels
pour que l'on
nt été entre-
à gaz.

d'une grande
mélange gazeux
Des mélanges
endrons ceux
ible) peuvent
instantanées,
l'on provoque
ntérieure très
nt déboucher
n jet de gaz

és impossible
ge gazeux, le
lus à la com-
serve presque
mais toujours
ne : l'agitation

a combustion

et froids. Un
ieure, brûle
par la partie
à travers les
r à la vitesse
insi produite

VITESSE DE PROPAGATION.

est toujours très faible; elle n'est sensible qu'avec mélanges gazeux très lents et renfermés dans des tubes de grand diamètre.

2° La *dilatation* des gaz brûlés produit, lorsqu'on allume un mélange gazeux près de l'extrémité fermée du tube qui le contient, une agitation extrêmement violente; les mélanges les plus lents donnent dans ces conditions des très fortes explosions. La vitesse normale de propagation peut se trouver alors facilement décuplée, elle peut même être centuplée.

3° Les *mouvements vibratoires* qui se développent pendant la combustion d'un mélange gazeux, sont la cause la plus fréquente d'accélération de la flamme, et l'effet ainsi produit est très variable d'un point à l'autre dans une même expérience, et en un même point dans des expériences consécutives, aussi les résultats obtenus sont-ils toujours très discordants.

L'un de nous (*) avait étudié précédemment la vitesse de propagation des mélanges de formène et de benzène d'éclairage avec l'air. Ces recherches avaient pour but d'établir la théorie des lampes de sûreté à treillis métalliques.

La méthode suivie a été celle de l'orifice en mince par lequel le gaz s'écoule, déjà employée par Bunsen.

Les résultats les plus saillants de cette étude ont été que les vitesses croissent proportionnellement aux quantités de gaz combustible ajoutées à un même volume d'air, jusqu'à un certain maximum, à partir duquel elles décroissent de nouveau, mais toujours proportionnellement aux quantités de gaz ajoutées, c'est-à-dire que la courbe obtenue en prenant pour ordonnées les vitesses et pour abscisses les quantités de gaz, est sensiblement formée de deux droites.

(*) Mallard, *Annales des mines*, 7^e série, t. VII, p. 355.

La vitesse maxima n'est pas obtenue, comme on aurait pu le croire, avec le mélange théorique qui renferme 9,4 de formène, mais bien avec celui qui renferme 10,9 p. 100 de ce gaz. Cette vitesse a été trouvée de 0^m,55 par seconde.

M. FONSECA (*) a cherché à déterminer la vitesse de combustion des mélanges tonnants que forment avec l'oxygène les principaux gaz combustibles. Il a utilisé dans ce but la remarque suivante : quand on souffle un mélange gazeux par l'orifice d'un chalumeau avec une vitesse suffisante, il est impossible de maintenir la flamme contre l'orifice, il se forme derrière elle un espace sombre où la combustion n'a pas encore lieu. En diminuant la vitesse d'écoulement, la flamme se rapproche de plus en plus de l'orifice jusqu'à venir le toucher. On peut admettre qu'à ce moment il y a égalité entre la vitesse de propagation de la flamme et celle des filets gazeux les plus lents qui sortent contre les bords de l'orifice. La connaissance de la vitesse de ces filets, fort difficile il est vrai à déterminer avec certitude, permet de déduire celle de propagation de la flamme.

Voici quelques-uns des nombres obtenus par cette méthode :

H + O	35 ^m par seconde.
CO + O	1 ^m ,40 —
C ² H ⁴ + 8 O	2 ,10 —
PbH ² + 8 O	9 ,20 —
C ² Az + 4 O	0 ,44 —

M. GOUR (**) a essayé de déduire la vitesse de propagation de la flamme dans les mélanges de gaz d'éclairage et d'air de la mesure de l'angle du cône lumineux qui se

(*) Mémoire sur la vitesse de propagation des flammes, par Francisco da Fonseca Benevides, *Jornal de sciencias mathematicas, physicas et naturaes*, num. XXVII, 1880 Lisbonne.

(**) *Ann. de phys. et chim.* 5^e série, t. XVIII, p. 32.

produit à l'intérieur des flammes des brûleurs Bunsen mais ce phénomène, comme nous aurons occasion de montrer, est fort complexe et ne paraît pas pouvoir prêter à des recherches de cette nature.

Enfin, pendant que nos expériences étaient en cours d'exécution, MM. BERTHELOT et VIEILLE (*), qui étudiaient parallèlement le même sujet, ont été amenés à faire une découverte importante : ils ont reconnu que dans certaines circonstances particulières l'inflammation peut se propager avec une vitesse énorme, de plusieurs milliers de mètres par seconde, c'est-à-dire bien supérieure à celle du son dans les conditions ordinaires de température et de pression. — Ils ont donné à ce mode de propagation le nom d'*onde explosive*. — Ils ont reconnu que les lois de la propagation de cette onde étaient les mêmes que pour les ondes sonores, c'est-à-dire que sa vitesse est indépendante de la pression du mélange gazeux. Ils ont proposé pour ce phénomène l'explication théorique suivante : «
« semble que dans l'acte de l'explosion un certain nombre
« des molécules gazeuses parmi celles qui forment
« une tranche enflammée, tout d'abord soient lancées en avant
« avec toute la vitesse correspondant à la température
« maxima développée par la combinaison chimique ; le
« choc détermine la propagation de celle-ci dans la tranche
« voisine et le mouvement se reproduit de tranche à
« tranche avec une vitesse sinon identique du moins comparable
« à celle des molécules elles-mêmes. (**) »

II. — Méthodes d'expérimentation.

Lorsque, dans une masse gazeuse supposée indéfinie l'inflammation est portée en un point, elle se propage

(*) *Ann. de phys. et chim.* 5^e série, XXVIII, p. 289.

(**) *Comptes rendus*, t. XCIV, an. 1882, p. 151.

VITESSE DE PROPAGATION.

du gaz jusqu'au moment où la flamme traverse l'orifice et pénètre dans la masse gazeuse renfermée derrière paroi. On détermine la vitesse que le gaz possédait à ce moment et on peut en déduire celle de la flamme admettant qu'il doit y avoir égalité entre ces deux vitesses au moment où la flamme traverse l'orifice.

En fait cette déduction n'est pas tout à fait légitime, cela pour plusieurs motifs : la vitesse d'écoulement du gaz n'est pas la même en tous les points de l'orifice, est moindre près des bords ; il existe donc tout au long de l'orifice une zone de plus facile rentrée pour la flamme.

Mais d'autre part l'action refroidissante de la paroi ralentit également la vitesse de propagation de la flamme au bord de l'orifice ; il en résulte une nouvelle source d'erreurs dont l'effet agit en sens contraire de la précédente, de telle sorte que, suivant les conditions, la vitesse moyenne d'écoulement, la seule que nous ayons mesurée, peut être plus grande ou plus faible que la vitesse de propagation cherchée.

Une nouvelle cause d'incertitude résulte de la rapidité de diffusion de l'air extérieur dans la flamme. La température de celle-ci est ainsi accrue et par suite la vitesse de propagation est accélérée par les mélanges gazeux renfermant un excès de gaz combustibles. L'effet contraire se produit pour les mélanges renfermant déjà un excès d'air.

Enfin cette méthode a l'inconvénient d'obliger à opérer sur des volumes de mélange explosif considérables et la préparation est assez longue et le maniement toujours dangereux, car on n'est jamais certain qu'à un moment donné la flamme ne remontera pas jusqu'au réservoir principal pour y occasionner une violente explosion. Nous ne l'avons jamais employée pour des mélanges dont la vitesse dépasse 1 mètre par seconde, et nous n'avons employé d'orifices de plus de 0^m,01 de diamètre ; nous n'oserions affirmer que dans ces conditions les vitesses

ISTION DES MÉLANGES GAZEUX.

rvées ne soient pas encore un peu in-
tion refroidissante des bords de l'orifice.
ns ajouter immédiatement que si ce pro-
nombreuses causes d'erreurs systémati-
mpossible d'apprécier l'importance, il ne
les erreurs accidentelles très faibles, et
fournit présentent une concordance re-
i n'est pas le cas pour les autres procédés
vient donc très bien pour l'étude com-
sses de propagation, et c'est peut-être
mauvais, lorsqu'il est possible de l'em-
miner leurs valeurs numériques absolues.

L'appareil. — L'appareil que nous avons
psait essentiellement de deux parties : un
le capacité renfermant le mélange gazeux
ence et un second réservoir de plus petite
i paroi duquel était percé l'orifice; ils
r un tube métallique portant un robinet.
oir était formé par un tube en verre de
e et d'une hauteur égale. La base supé-
se par une feuille de clinquant portant
ce circulaire. Le diamètre de ces orifices
expériences de 0^m,001 à 0^m,01. Sa base
rmée par un bouchon à travers lequel
e destiné à amener les gaz.

roit sur toute sa longueur, était prolongé
rindre de verre par un tronçon de tube
nètre, fermé à sa partie supérieure et
itérales très fines. Cette disposition avait
uire la vitesse propre des divers filets
arrivée à l'orifice. Le retour de la flamme
mpêché par une toile métallique placée
le cylindre de verre et, comme deuxième
par des grains de plomb très fins qui

emplissaient sur toute sa hauteur le tube percé de fente.

Le grand réservoir était formé par un flacon de verre de cinq litres de capacité portant deux tubulures supérieures et une tubulure inférieure. Cette dernière, fermée par un gros robinet, servait à écouler l'eau pendant l'introduction du mélange gazeux dans le flacon. L'une des tubulures supérieures portait un tube destiné à envoyer le gaz vers l'orifice pendant l'expérience ou à l'introduire dans le flacon pendant le remplissage. La seconde tubulure servait à amener dans le flacon, pour déplacer le gaz, de l'eau qui était débitée par un vase de Mariotte, dont on pouvait facilement régler et mesurer le débit. L'emploi d'un vase de Mariotte permettait d'assurer un écoulement du gaz régulier, malgré les résistances variables qu'il rencontrait à son passage à travers l'orifice et les toiles métalliques.

Nous avons toujours déterminé la vitesse d'écoulement du gaz en divisant le volume d'eau débité en une seconde par la section de l'orifice. Pour avoir le droit de calculer ainsi, il faut que la compression du gaz dans le flacon soit nécessaire pour vaincre les résistances qu'il rencontre sur son parcours, soit assez faible. Dans nos expériences et dans celles de M. Schuster, la hauteur d'eau n'a jamais dépassé quelques centimètres d'eau, c'est-à-dire quelques millièmes d'atmosphère, quantité tout à fait négligeable dans des expériences de cette nature.

Nous avons fait intervenir dans ces calculs la section réelle de l'orifice et non pas la section de la veine contractée, parce que la flamme ne remonte pas chacun de ses filets gazeux plus ou moins convergents qui sortent de l'orifice, mais s'avance tout d'une pièce parallèlement à l'axe de la veine gazeuse. C'est donc seulement la projection des vitesses sur cet axe qui doit intervenir dans le mode de calcul que nous avons adopté donne précisément la moyenne de ces vitesses projetées.

Le même appareil nous a servi à étudier les conditions de propagation de la flamme dans des tubes de nature

VITESSE DE PROPAGATION.

Nous ne donnerons aucun des résultats obtenus par le procédé.

Pour obtenir des mesures exactes d'intervalles de temps aussi courts que ceux auxquels on a affaire dans ces expériences, il est indispensable d'obtenir l'enregistrement automatique du passage de la flamme devant ses repères. On peut utiliser pour cela les différentes propriétés des flammes ; nous nous sommes servis des trois suivantes : *conductibilité électrique* des gaz chauds, *dilatation* des gaz brûlés résultant de la combustion, *pouvoir photométrique* de la lumière émise par quelques flammes. Pour distinguer ces trois modes d'enregistrement, nous donnerons les noms d'*électrique*, *pneumatique* et *photographique*.

Enregistrement électrique.

On sait que la distance à laquelle l'étincelle d'induction jaillit dans un gaz est d'autant plus grande que sa température est plus élevée. Par conséquent, en plaçant dans un mélange gazeux combustible deux pointes reliées aux bornes d'une bobine d'induction, et séparées par une distance telle que l'étincelle ne puisse pas jaillir à la température ordinaire, le fil ne sera traversé par aucun courant. Mais aussitôt que la flamme sera arrivée entre les pointes, une étincelle jaillira à chaque interruption du courant inducteur, et en même temps un courant très faible, mais réel, traversera le fil induit. Ce courant peut être utilisé pour donner un signal s'inscrivant sur un chronographe enregistreur quelconque. L'erreur commise sur la mesure du temps est de l'ordre de l'intervalle qui sépare deux interruptions du courant inducteur ; nous n'avons pas pu arriver à avoir utilement plus de cent interruptions par seconde, l'erreur possible était donc de $1/100$ de seconde. Nous n'avons employé l'enregistrement électrique

aussitôt que la vitesse de rotation dépasse une certaine valeur, permet d'obtenir un mouvement uniforme avec une erreur inférieure à $1/1000$. La vitesse périphérique du cylindre était de $0^{\text{m}},10$ par seconde; nous nous assurons de sa régularité en inscrivant de temps en temps la vibration d'un diapason donnant 100 oscillations complètes. Les électro-aimants étaient portés par un chariot qu'une vis déplaçait devant le cylindre.

Ces appareils d'enregistrement électrique du temps sont d'un maniement très délicat et nous ont causé de nombreux déboires. Le réglage du ressort des électro-aimants et de la distance des pointes doit être fait avec un très grand soin. Quand les électro-aimants sont trop sensibles, les moindres trépidations, le frottement de la plume sur le papier du cylindre suffit pour faire déclencher l'armature et donner un signal à faux; quand ils sont trop paresseux, au contraire, il faut pour les faire fonctionner plusieurs étirages consécutifs qui occasionnent chacune une erreur de $1/100$ de seconde sur la mesure du temps. De plus rien ne permet de distinguer les expériences défectueuses des bonnes. Pour régler convenablement les électro-aimants nous mesurons, avec notre appareil d'expérience, la vitesse de translation d'une flamme de gaz d'éclairage à laquelle nous communiquons un mouvement bien connu. Pour cela un tube métallique était fixé suivant un rayon d'un des roues du moteur et se recourbait au centre parallèlement à l'axe; un caoutchouc fixé à frottement doux en ce point amenait le gaz, qu'on allumait à l'autre extrémité du tube métallique. Cette roue faisait une révolution en trois secondes, les pointes étaient placées aux deux extrémités d'un diamètre; la flamme mettait donc $1^{\text{s}},5$ à aller de l'une à l'autre, et pendant ce temps le cylindre développe $0^{\text{m}},15$. Mais par suite des liaisons mécaniques existant entre le moteur et le cylindre, il est bien évident que, quelle que soit la vitesse du moteur, le même intervalle

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

5 correspondait toujours à une demi-révolution. Nous procédions au réglage en faisant marcher très lentement le moteur à la main et arrêtant les pointes jusqu'au moment où les électro-aimants fonctionnèrent; nous recommencions ensuite les expériences en faisant marcher le moteur à pleine vitesse. Les signaux donnés par les électro-aimants devaient se superposer aux premiers. S'il n'en était pas ainsi, une certaine distance d'écart correspondait à une étincelle jaillie entre les pointes sans avoir déclenché les électro-aimants. On augmentait alors progressivement la tension de l'électro-aimant antagoniste jusqu'au moment où on obtenait la superposition exacte des signaux.

Les électro-aimants réglés, nous procédions au réglage de la distance des pointes. Elles étaient écartées jusqu'à ce qu'on ne voyait plus d'étincelle jaillir entre elles. Puis on doublait cette distance pour être certain que l'étincelle ne passe pas non plus dans les mélanges gazeux les plus denses que l'air, tels que ceux qui renferment du hydrogène, du formène. Il est très important que la chambre soit remplie, car si l'étincelle jaillit au milieu d'une chambre gazeuse, non seulement l'expérience est fautive, mais il se produit encore une violente explosion qui peut détruire les appareils. Il ne faut pas non plus tomber en défaut par une pression opposée, car la quantité d'électricité nécessaire pour produire l'étincelle décroît avec la distance des pointes, et le fonctionnement des électro-aimants est de plus en plus incertain.

Enregistrement pneumatique.

— Les gaz en brûlant augmentent de volume et exercent une compression plus ou moins énergique que la capacité où ils brûlent est plus ou moins étroitement close. Cette compression peut être

utilisée pour actionner des appareils enregistreurs convenables tels que les tambours de M. Marey. La disposition que nous avons adoptée consiste à fixer sur le côté du tube de petites capacités communiquant par un orifice étroit avec l'intérieur du tube, qui se remplissaient de mélange gazeux en même temps que ce dernier. La flamme en passant devant ces orifices enflammait le mélange renfermé dans ces petites chambres.

La compression intérieure qui s'y développe est évidemment d'autant plus forte que la vitesse de propagation est plus grande et que les orifices de passage sont plus étroits. Mais pour les mélanges très lents, on est obligé de faire les orifices très larges pour permettre le passage de la flamme, et l'on n'obtient alors que des compressions tout à fait insignifiantes. Nous n'avons pas réussi à obtenir de signaux avec les mélanges dont la vitesse de propagation est inférieure à 1 mètre par seconde. Nous avons essayé dans ce cas de transmettre l'inflammation à travers des orifices assez étroits au moyen de fils de fulmicoton, mais les résultats n'ont pas été très satisfaisants.

Le signal enregistrant le passage de la flamme devant les orifices est toujours en retard sur ce phénomène d'une quantité égale à la durée de la propagation de la flamme dans la capacité latérale, et de la propagation de l'onde comprimée dans le tube en caoutchouc qui relie la chambre de combustion au tambour enregistreur. L'erreur commise sur la mesure du temps n'est que la différence des retards aux deux points extrêmes, différence que nous avons rendue aussi faible que possible sinon nulle, en donnant les mêmes dimensions aux chambres de combustion et aux tubes de caoutchouc. Les chambres de combustion avaient 0^m,02 de profondeur, et la distance qui les séparait, c'est-à-dire la longueur sur laquelle on effectuait la mesure de la vitesse, était de 1 mètre. L'erreur commise de ce chef était donc inférieure à 2 p. 100, sans

dans le tube, et pour ordonnée le temps écoulé depuis l'origine de la combustion.

Notre appareil se composait d'un tube en verre horizontal formé de tronçons ayant chacun 1 mètre de longueur, et réunis par des anneaux de caoutchouc ; d'un objectif photographique à large ouverture, et du cylindre enregistreur à vitesse constante précédemment décrit sur lequel était enroulé une feuille de papier sensible au gélatino-bromure.

On déterminait sur la courbe obtenue l'échelle des longueurs au moyen des interruptions dans l'image de la flamme que produisaient les raccords en caoutchouc ; leur intervalle correspondait à une longueur de 1 mètre qui était celle de chacun des tronçons de tube.

L'échelle des temps était obtenue par les éclipses que produit, dans la lumière d'un fil de magnésium, un diapason battant le $1/100$ de seconde. Ce fil de magnésium brûlait derrière une feuille de clinquant percée d'une fente mince, et une des branches du diapason portait, soudée à l'extrémité d'un fil métallique, une seconde feuille de clinquant également percée d'une fente mince. Le fil métallique était réglé par tâtonnement à la longueur convenable pour donner la plus grande amplitude possible aux oscillations de l'écran mobile. On obtenait ainsi, sur la feuille de papier sensible, à côté de la courbe, une ligne ponctuée, dont chacun des éléments correspondait à $1/200$ de seconde. Par ce procédé on arrive à faire la mesure des temps à $1/1000$ de seconde près, en donnant au cylindre une vitesse périphérique de 1 mètre par seconde. Nous obtenions ces grandes vitesses, au moyen d'un renvoi par courroie qui était sujet à des glissements et ne permettait pas par conséquent de déduire la vitesse du cylindre, de la vitesse constante et connue du moteur.

Nous n'avons réussi à employer ce procédé qu'avec le sulfure de carbone mêlé à l'oxygène ou au bioxyde d'azote.

Nous n'avons jamais obtenu d'impression photographique avec la flamme d'oxyde de carbone et d'oxygène, qui est cependant d'un bleu très intense. Peut être l'hydrogène sulfuré et l'hydrogène phosphoré avec l'oxygène et les composés oxygénés de l'azote donneraient-ils d'aussi bons résultats que le sulfure de carbone.

III. Résultats des expériences.

Lorsqu'un mélange gazeux renfermé dans un tube fermé à une extrémité et ouvert à l'autre est allumé par une flamme près de l'extrémité libre, la flamme s'avance d'un mouvement très irrégulier. Tous les procédés d'expérimentation permettent de le reconnaître, mais la méthode photographique montre de plus que ce mouvement peut se décomposer en une série de phases successives présentant des caractères bien tranchés. Ces phases sont au nombre de quatre, mais elles ne se produisent généralement pas toutes dans une même expérience.

La flamme s'avance toujours au début d'un *mouvement uniforme*, qui est indiqué sur les photographies par une portion de courbe parfaitement rectiligne qui va du point *a* au point *b* (*fig. 1, 2, 3, Pl. X*). La vitesse de ce mouvement est la vitesse normale de propagation de la flamme qui a fait l'objet principal de nos recherches, mais dont la détermination exacte présente de grandes difficultés.

Elles proviennent surtout de la transformation rapide de ce mouvement uniforme en un *mouvement vibratoire*, dont la vitesse est toujours irrégulière et beaucoup plus rapide. L'existence de cette seconde phase du mouvement de la flamme est mise, dans tous les cas, en évidence par les sons souvent très intenses que rendent les mélanges en combustion, elle se manifestait sur nos photographies par la forme sinusoïdale de la courbe qui va du point *b* au

VITESSE DE PROPAGATION.

point *c* (*fig. 1, 2, 3, Pl. X*). Généralement elle se continue jusqu'à la fin de la combustion.

Dans certains cas, cependant, elle se transforme en *onde explosive*, dont l'existence a été reconnue, la première fois, par MM. Berthelot et Vieille. Cette troisième phase se manifeste par la violence de l'explosion qui l'accompagne toujours et l'éclat inusité de la flamme. La courbe photographique se relève brusquement sur une ordonnée rectiligne au point *c* (*fig. 2, Pl. X*), quant ainsi que, pendant la durée totale de la propagation de cette onde, le cylindre enregistreur n'avait pas eu le temps de se déplacer d'une quantité appréciable.

Enfin, comme quatrième et dernière phase, la flamme peut éprouver une *extinction* spontanée avant la combustion complète du mélange gazeux (*c, fig. 4, Pl. XI*).

Nous allons exposer les résultats que nous avons obtenus de l'observation de chacune de ces phases de propagation de la flamme :

1° MOUVEMENT UNIFORME.

Le premier point à établir était l'existence d'une propagation uniforme se reproduisant toujours identique à elle-même dans les mêmes conditions. Des raisons théoriques très solides avaient conduit à l'admettre ; mais les expériences faites jusqu'ici, ainsi que la plupart des expériences conduisaient à une conclusion opposée. Les données obtenues, en opérant dans des conditions en apparence identiques, présentaient, en effet, des écarts énormes qui pouvaient varier du simple au double et même du triple. Les observations photographiques ont pu démontrer, avec une entière certitude, l'existence de cette première phase. La rectitude absolue du premier élément de la courbe photographique hors de doute l'existence d'une propagation uniforme. L'égale inclinaison de cette partie de la courbe dans

STION DES MÉLANGES GAZEUX.

cutives montre que la vitesse est toujours es conditions se reproduisent identiques

nombres relevés sur nos courbes photo- le mélange $CS^2 + 3AzO^2$.

Vitesse initiale.

,03 de largeur	1 ^m ,25 (Pl. X, fig. 1-2)
,02 —	1,24 (Pl. XI, fig. 2)
,01 —	1,30 (Pl. XI, fig. 3)

t très faibles et tout à fait compatibles ivent résulter des petites différences que tre dans la composition des mélanges

ant laquelle la période de mouvement uni- e, est très variable. Elle croît avec le dia- dans des tubes de 5 mètres de longueur, ouru par la flamme d'un mouvement uni- r le mélange $CS^2 + 3AzO^2$:

ltre du tube.

Chemin parcouru.

0 ^m ,03	1 ^m ,00 (Pl. X, fig. 2-5)
0,02	0,80 (Pl. XI, fig. 1)
0,01	0,50 (Pl. XI, fig. 4)

re avec la longueur du tube jusqu'à un à partir duquel l'augmentation de lon- plus aucun effet utile. La longueur utile jouter est d'autant plus grande que le ne est plus grand. Le tableau suivant ns parcourus par la flamme d'un mouve- ans des tubes de longueur et de diamètre

.....	0 ^m ,03	0 ^m ,02	0 ^m ,01
urs.	Chemins parcourus.		
	0 ^m ,50	0 ^m ,56	"
	0,80	0,73	0 ^m ,25
	1,00	0,72	0,25

VITESSE DE PROPAGATION.

On voit immédiatement sur ces tableaux que pour un tube de 0^m,03, l'augmentation de longueur jusqu'à 3 m a été *utile*; tandis que pour les tubes plus étroits de 0^m,01 et 0^m,01 l'augmentation de longueur au delà de 2 m ne produit aucun effet.

Il est très probable que pour tous les mélanges gazeux présentant des vitesses analogues à celles du mélange sulfure de carbone et de bioxyde d'azote, c'est-à-dire variant peu de 1 mètre, les résultats seraient les mêmes. On pourrait donc faire des mesures de vitesses très exactes en employant un tube de 0^m,03 de diamètre et 4 mètres de longueur, et n'utilisant que le premier mètre. Mais ces expériences photographiques étant les dernières en date que nous ayons faites, nous n'avons pu mettre à profit l'ensemble de nos recherches les indications qu'elles nous ont fournies.

Nous avons bien reconnu auparavant qu'on obtenait des résultats plus concordants, en déterminant la vitesse de l'entrée d'un tube de grande longueur et nous avons fait la plupart de nos mesures sur un tube de 1 m de longueur et de 0^m,01 de diamètre, prolongé par 2 à 100 mètres de même diamètre.

D'après ce que nous venons de dire, ces longueurs énormes sont tout à fait inutiles; quelques mètres auraient produit le même effet. De plus, avec un diamètre de 0^m,01 on ne pouvait obtenir un mouvement uniforme sur une longueur de 1 mètre. Nos mesures ont donc embrassé une partie de la période vibratoire, c'est là la raison des écarts que présentent nos chiffres.

On ne peut logiquement étendre les conclusions précédentes relatives à la durée du mouvement uniforme aux mélanges très rapides comme le mélange tonnant H₂O₂. Mais nous avons fait des observations photographiques sur le mélange de sulfure de carbone et d'oxygène, dont la vitesse normale est très voisine de celle du mélange

VITESSE DE PROPAGATION.

INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES TUBES.

Le *diamètre* des tubes a une très grande influence sur la vitesse de propagation des flammes. Ce fait, reconnu par Davy, peut être mis en évidence par une expérience élégante due à MM. Schloësing et de Mondésir. Une série de tubes en verre de diamètre décroissant sont placés côte à côte l'un de l'autre et remplis d'un même mélange inflammable. On allume tous simultanément au moyen d'étincelles d'acier et l'on voit la flamme dans les plus gros tubes se propager plus rapidement de l'avance sur celle des plus petits.

Nous avons fait quelques mesures comparatives destinées à déterminer à partir de quel diamètre l'influence du diamètre cesse d'être sensible, et par suite ralentissante des parois, et se faire sentir :

$\text{CS}_2 + 3\text{AzO}^3$ (méthode photographique)

Diamètre.	Vitesse.
0 ^m ,004	0,00
0,01	0,75
0,02	1,28
0,03	1,25

Pour ce mélange, dont la vitesse est peu supérieure à 1 mètre par seconde, l'influence des parois cesse d'être sensible à partir d'un diamètre de 0^m,02.

C^2H^4 et air à 10,4 p. 100 de C^2H^4 (méthode de Cornu)

Diamètre.	Vitesse.
0 ^m ,0032	0,00
0,0055	0,22
0,0080	0,39
0,0095	0,41
0,0122	0,47

Pour ce mélange, dont la vitesse est voisine de 0^m 5 par seconde, l'influence des parois est encore sensible à partir d'un diamètre de 0^m,01.

BUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

10 p. 100 d'H (Enregistrement pneumatique)

no.

Observations.

50 Moyenne de quatre expériences.

13 Une seule expérience.

50 Deux expériences identiques.

72 { Dans quatre expériences sur cinq la flamme
s'est éteinte après avoir parcouru les deux
tiers de son chemin.

anges, dont la vitesse normale est de 3 mètre, il suffit d'un diamètre de 0^m,003 pour une retardatrice des parois.

is pas fait d'expérience sur les mélanges d'oxygène. Mais nous avons eu l'occasion de ces tubes en cuivre étirés de 0^m,00025 (1/4 le diamètre intérieur, n'étaient que rarement la flamme du mélange tonnant H + O, tant qu'il n'y avait pas de retardatrice, et régulièrement par celle du mélange

Il n'est à tirer de ces expériences est que le diamètre nécessaire pour éviter tout ralentissement de la flamme, est d'autant plus grand que la propagation de la flamme est plus faible, et que le diamètre du tube capable de provoquer son extinction est plus grande. Quant au rapport entre les diamètres de nulle transmission et de libre transmission de la flamme, ces expériences et quelques autres que nous n'avons pas rapportées, nous nous permettent d'admettre qu'il ne doit pas être très éloigné de l'unité. C'est-à-dire qu'en prenant pour mesurer la vitesse de propagation d'un mélange gazeux, un tube d'un diamètre cinq fois plus grand que celui qui produit son extinction immédiatement, on se trouve à peu près certain de se trouver dans les limites de la vérité que si l'on opérait dans un tube d'un diamètre égal à l'unité.

L'action refroidissante des parois du tube a pour conséquence de donner à la flamme pendant sa propagation, une forme particulière, qui est celle d'un ménisque liquide soulevé dans un tube capillaire. Quand le tube devient assez large pour ne plus exercer d'action retardatrice sur la flamme, celle-ci devient plane dans sa partie centrale. On peut se rendre compte de cette particularité en décomposant par la pensée le mélange gazeux en tranches annulaires concentriques. Chacun de ces anneaux doit avoir une vitesse de propagation particulière, d'autant plus faible qu'il est plus voisin de la paroi. Mais la juxtaposition de vitesses de propagation différentes est impossible, parce que le filet central à vitesse de propagation maxima, transmet l'inflammation aux anneaux latéraux à vitesse moindre, de telle sorte que l'inflammation, au lieu de se propager partout parallèlement à l'axe du tube, se propage obliquement au voisinage des parois, et la flamme dont la surface est normale à la direction de la propagation s'infléchit en ces points.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DU MÉLANGE GAZEUX.

La température du mélange gazeux exerce une grande influence sur la vitesse de propagation de la flamme, qui croît, comme on pouvait le prévoir, avec la température.

Nous avons trouvé pour le mélange d'hydrogène et d'air à 30 p. 100 d'hydrogène, brûlant dans un tube de verre de 1 mètre de long et 0^m,006 de diamètre, les résultats suivants :

Température du mélange.	Vitesse.
15°	3 ^m ,28
100	4,35

INFLUENCE DE LA NATURE ET DE LA PROPORTION DES GAZ MÉLANGÉS.

La proportions des gaz mêlés ensemble et leur nature sont évidemment les facteurs les plus importants de

PROPORTION d'hydrogène.	VITESSES observées.	VITESSE moyenne.	LONGUEUR du tube.	OBSERVATIONS.
p. 100	mètres	mètres	mètres	
6		0,00		
10	0,70	0,60		
15	1,17 1,19		1,49	
20	1,85 2,08	1,95	0,347	Tube prolongé par 30 mè- tres de tubes de plomb.
25	2,56 2,56		1,49	
30	3,45 3,67 3,31 3,34 3,31 3,33 3,72 3,80 4,22 4,35	3,80	1,49 1,35 0,347 0,347	
35	4,08 4,20		1,49	Id. Id. Fermé en bas. Prolongé. Fermé en bas.
40	4,27 4,42 5,11 4,84 4,60 4,20	4,87	1,49 0,347 1,35	Prolongé.
50	4,02 3,84 3,62 3,90 4,20	3,45	1,35 0,347	Id.
55	2,85 2,85		1,49	
60	2,30 2,39 2,47 2,53	2,30	1,35 0,342	
70		1,10		
80		0,00		

Cette première série d'expériences, la plus complète et celles que nous ayons faites, confirme deux faits intéressants, déjà reconnus par l'un de nous dans ses anciennes expériences sur les mélanges de grisou et d'air. La vitesse maxima n'est pas obtenue avec le mélange renfermant des quantités équivalentes d'oxygène et de gaz combustible. Ce mélange théorique pour l'hydrogène renferme 29,5 p. 100 de ces gaz, tandis que c'est le mélange à 40 p. 100 qui a donné la plus grande vitesse. Enfin de part et d'autre de ce maxima, les vitesses varient proportionnellement aux quantités d'hydrogène contenues dans le mélange. Nous avons représenté graphiquement ces résultats par une courbe (Pl. VIII, fig. 6).

Ces expériences, comme les précédentes, montrent qu'il y a à peu près proportionnalité entre les variations de vitesse et l'accroissement des quantités de gaz combustible, et que la vitesse maxima ne correspond pas au mélange théorique qui contient 9,4 p. 100 de formène. En admettant la proportionnalité exacte jusqu'au maximum, on trouverait qu'il lieu pour le mélange renfermant 12,2 p. 100 de gaz, dont la vitesse serait de 0^m,62. Nous avons représenté graphiquement ces résultats par la courbe. (Pl. VIII, *fig. 7*).

Nous avons étudié l'influence d'un excès d'azote ou d'acide carbonique sur la vitesse de propagation des mélanges de formène. Il était intéressant de s'assurer si les variations que présente l'atmosphère des mines pouvaient exercer une influence notable sur la propagation des explosions de grisou.

Les expériences ont été faites en ajoutant au mélange de formène et d'air renfermant 11,65 p. 100 du gaz combustible des quantités croissantes d'azote ou d'acide carbonique. Nous avons employé la méthode de l'orifice en mince paroi avec un tube de 0^m,008 de diamètre.

QUANTITÉ DE GAZ INERTES ajouté à 1 volume du mélange primitif.		PROPORTION DE FORMÈNE renfermé dans le mélange définitif.	VITESSES
vol.			mètres
0,5	Az	8,	0,32
1,0	Az	5,8	0,30
1,4	Az	4,7	0,19
0,5	CO ²	8,3	0,31
1,0	CO ²	5,8	7,16

En comparant ces chiffres à ceux du tableau précédent on voit qu'un excès d'azote se comporte comme le ferait un excès d'air; l'acide carbonique à volume égal exerce une action retardatrice un peu plus considérable.

On voit que, dans tous les cas, les quantités de gaz qu'il faut ajouter pour s'opposer à la propagation

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

omme sont hors de toute proportion avec celles, qui
se rencontrer dans les mines.

Gaz d'éclairage et air.

avons fait deux séries d'expériences sur le gaz
age, à un an d'intervalle. L'une a été faite par la
e de l'orifice, l'autre dans un tube avec enregistre-
neumatique du passage de la flamme.

Proportion de gaz.	Vitesse observée.	
10,0	0,44	0,48
12,5	0,83	0,84
	0,68	
15,0	1,05	1,02
	1,05	1,03
17,5	1,16	1,16
	1,17	1,21
20,0	0,88	0,98

ombres conduiraient comme limite de combustibilité
00 et 28 p. 100. La vitesse maxima correspondant
nge à 17 p. 100 devrait être 1^m,25. Le mélange
ie, sans excès de gaz ni d'air, doit être voisin de
00, proportion qui nous a donné, dans nos expé-
de pression, les résultats les plus élevés.

Sulfure de carbone et air.

n'avons fait qu'une expérience sur le mélange en
on équivalente dans un tube de 1 mètre de long
limètres de diamètre. Nous avons obtenu une vitesse
0 par seconde. Ce chiffre est sans doute trop fort,
est produit des vibrations assez considérables dans
périence.

avons essayé quelques mesures de vitesse pour les
s tonnants que forment les gaz combustibles avec

VITESSE DE PROPAGATION.

l'oxygène, mais nous n'accordons aucune confiance : nombres que nous avons trouvés, sauf cependant p l'oxyde de carbone. Avec l'hydrogène et le formène, n avons certainement toujours eu production de l'o explosive. Les nombres obtenus sont donc une moye entre la vitesse normale de propagation, qui ne doit pour ces mélanges dépasser une vingtaine de mètres secondes, et celles de l'onde explosive, qui est de plusie milliers de mètres. Nous les donnerons cependant tels nous les avons obtenus.

Oxyde de carbone et oxygène.

Ces expériences ont été faites sur le mélange toni $\text{CO} + \text{O}$ par la méthode du tube et par celle de l'enregist ment pneumatique. Ce mélange, très lent, n'a jamais do lieu à l'onde explosive ; dans certains cas même, les m vements vibratoires accompagnant la combustion ont très faibles, comme on peut le reconnaître à la régula du tracé donné par le style de la chambre de combus inférieure. Nous avons fait trois séries d'expérien dans des tubes de 0^m,01 de diamètre et de longueur riable.

1^{re} série. Tube en verre de 1^m,49 de long, prolo par un tube en plomb de même diamètre et de 20 mè de longueur.

Vitesse observée.

—
2^m,32

2 ,00 Vibrations faibles

2 ,50

2^e série. Même tube en verre, prolongé par 100 mè de tube de plomb.

2 ,01 Vibrations faibles

2 ,17

2 ,14

3^e série. Tube en plomb de 0^m,347 de longueur, 0^m,01 de diamètre, prolongé par 100 mètres de tube de même diamètre.

2^m,31 Vibrations faibles

2,42 — —

Les expériences les meilleures, faites dans le tube de 1^m,49, donnent une vitesse de 2 mètres par seconde. C'est le chiffre que nous admettrons. Avec le tube de 0^m,347, la vitesse observée est plus grande, cela tient à la cause d'erreur signalée plus haut, c'est-à-dire l'inégale vitesse de propagation dans les deux chambres latérales.

Hydrogène et oxygène.

Les expériences sur le mélange tonnant ont donné des vitesses variant de 40 à 480 mètres par secondes. Nous ne croyons pas utile d'en donner le détail.

Nous avons également fait des expériences sur des mélanges en proportions variées d'hydrogène et d'oxygène. Nous nous sommes servis d'un tube de 1^m,35 de longueur et 0^m,01 de diamètre, tantôt fermé en bas, tantôt prolongé par un tube de 100 mètres de longueur. Dans le cas du tube fermé, l'onde explosive a dû se développer dans plusieurs expériences, comme le montrent les valeurs élevées trouvées pour les vitesses. Avec le tube prolongé, les nombres trouvés pour les vitesses ont toujours été beaucoup plus faibles et même assez concordants. Nous les considérons cependant comme trop forts, car la propagation de la flamme a toujours été accompagnée de mouvements vibratoires, souvent fort intenses, et, en outre, les résultats donnés par les mélanges renfermant un excès d'oxygène ne se raccordent pas avec ceux que donnent les mélanges d'hydrogène et d'air, comme cela doit certainement avoir lieu.

VITESSE DE PROPAGATION.

PROPORTION d'hydrogène.	VITESSE.		OBSERVATIONS.
	Tube fermé.	Tube prolongé.	
p. 100	mètres	mètres	
33	24	10	
50	140	17	
77	59	18	
84	12	13	
89		8	Deux expériences concordantes.

En prolongeant la courbe représentant les nombres colonne, on trouverait 20 mètres environ pour la vitesse du mélange tonnant, chiffre bien inférieur à tous ceux que nous avons observés, et que nous considérons pour le moment encore comme trop élevé.

Formène et oxygène.

Le mélange tonnant nous a donné des vitesses comprises entre 38 et 100 mètres par seconde. Ces vitesses sont certainement très supérieures à la vitesse de propagation du son.

Sulfure de carbone et oxygène.

Nous avons fait deux expériences par la méthode photographique.

L'une, dans un tube de 1 mètre de long et 0^m,03 de diamètre nous a donné une vitesse de 30 mètres; la seconde, dans un tube de 3 mètres de long et 0^m,01 de diamètre nous a donné 22 mètres. C'est ce dernier nombre que nous adopterons; dans la première expérience la vitesse de rotation du cylindre n'était peut-être pas exactement connue. Ces nombres ne sont affectés d'aucune erreur provenant du développement de l'onde explosive ou du mouvement vibratoire, puisque la mesure de la vitesse a été effectuée sur la portion rectiligne de la courbe photographique.

En dehors des mélanges dans lesquels le corps comburant est l'oxygène, nous avons expérimenté deux mélanges différents : celui de sulfure de carbone mêlé au bioxyde d'azote et celui d'hydrogène mêlé au chlore.

Sulfure de carbone et bioxyde d'azote.

Les deux gaz, mêlés dans les proportions convenables pour la combustion complète, ont donné par la méthode photographique une vitesse de 1^m,25 par seconde.



Hydrogène et chlore.

Mélanges.	Vitesse
H + Cl (1 ^{re} expérience)	10 ^m ,00
— (2 ^e —)	25 ,00
1 vol. (H + Cl) + 1 vol. H	3 ,00
— — — — —	3 ,30
1 vol. (H + Cl) + 1 vol. Cl	6 ,00

Ces nombres sont assez incertains, et nous ne les citons que parce qu'ils donnent une idée de la grandeur de la vitesse de propagation. Il s'est toujours développé pendant la combustion des vibrations très énergiques.

La seule *conclusion générale* que l'on puisse tirer de toutes les expériences dont nous venons de faire connaître les résultats, c'est que lorsqu'on allume un mélange gazeux explosible avec une flamme, l'inflammation commence toujours au début par se propager d'un mouvement uniforme. La vitesse de ce mouvement uniforme, qui se prolonge pendant un temps plus ou moins long suivant les cas, est constante pour un même mélange gazeux brûlant dans les mêmes conditions ; elle est toujours modérée et certai-

VITESSE DE PROPAGATION.

nement inférieure à 30 mètres par seconde pour mélanges étudiés jusqu'à présent.

2° MOUVEMENT VIBRATOIRE.

Le développement du mouvement vibratoire la propagation de la flamme dans les tubes, si MM. Schlœsing et de Mondésir, se reconnaît au vent extrêmement intense qui accompagne toute combustion et à l'aspect que présente la flamme dans les tubes assez lents pour qu'on puisse les suivre à l'œil. On reconnaît qu'au moment où le tube commence à résonner, la flamme qui s'était d'abord montrée sous une surface mince et très brillante, ne paraît que quelques millimètres d'épaisseur, devient trouble et s'allonge jusqu'à avoir un décimètre d'épaisseur. Mais nos photographies permettent de se faire une idée beaucoup plus nette de ce phénomène qu'on n'avait fait jusqu'ici. La courbe photographique est rectiligne pendant la période de mouvement uniforme, prend ensuite une forme ondulée, figurant tantôt des sinusoïdes simples, tantôt la superposition de plusieurs sinusoïdes de périodes différentes, mais multiples les unes des autres. Leur période et leur amplitude varient d'une courbe à l'autre du tube pendant la propagation de la flamme.

Les résultats que nous donnons se rapportent à un mélange de sulfure de carbone et de bioxyde d'azote dans les proportions voulues pour la combustion complète. Les tubes avaient des longueurs de 1, 2, 3 mètres et des diamètres de 0^m,01, 0^m,02 et 0^m,03.

Voici les principales remarques que nous suggèrent les courbes pendant cette période.

Durée du mouvement vibratoire. — Ce mouvement succède immédiatement au mouvement uniforme

ON DES MÉLANGES GAZEUX.

rès ce que nous avons dit plus haut
rme, en des points d'autant plus éloi-
tube que celui-ci est plus long et plus
nsuite sur une longueur variable suivant
e et le diamètre des tubes. Avec le mé-
dans le tube de 0^m,02 de diamètre,
toire se prolonge jusqu'à l'extrémité
g. 1). Il en est de même dans les
c les mélanges renfermant un excès de
ou de bioxyde d'azote. C'est de cette
comporter presque tous les mélanges
par l'air.

, au contraire, le mouvement vibratoire
place soit à l'onde explosive, soit à
du mélange.

vibrations. — Les vibrations très faibles
ont ensuite d'amplitude, mais d'une
2. Elles atteignent leur maximum quand
arrivée des 2/3 aux 3/4 de la longueur
eur totale de ceux-ci n'a pas dépassé
expériences (Pl. X, *fig.* 1, 2, 3). Puis,
, leur amplitude diminue pour s'annu-
ne arrive au voisinage de l'extrémité
ans les tubes de 0^m,03 de diamètre,
tima a varié de 0^m,50 à 1^m,10 (Pl. X,
lire qu'elle a pu atteindre dans certains
la longueur totale du tube.

rquer en passant que les oscillations de
cisément celles des tranches gazeuses
, expériences donnent pour la première
e de l'amplitude des mouvements vi-
se gazeuse qui émet un son.

utions. — La durée d'une vibration est

VITESSE DE PROPAGATION.

très variable d'un moment à l'autre, perturbation de la flamme; il est très rare que plusieurs consécutives conservent exactement la même durée, répétant plusieurs fois la même expérience dans des conditions identiques à elles-mêmes, le même phénomène ne se reproduit jamais deux fois consécutives. Ainsi dans cinq expériences faites avec $\text{CS}_2 + 3\text{AzO}_2$, la durée des plus grandes se soient développées aux $\frac{3}{5}$ de la longueur de 0",037, 0",022, 0",0096, 0",0131 et 0",0098. Nous donnerons comme exemple le détail des durées pendant toute une expérience, dans laquelle le vibratoire a présenté relativement peu

Chemin parcouru.	Durée de
de 0",80 à 1",00	0"
1",00 1",40	0"
1",50 1",70	0",0098
1",70 2",00	0"

On voit que les durées des vibrations qui se superposent sont ici dans le rapport 1 à 2, 4 ou 6. La même chose arrive dans la plupart des cas, mais plus rarement les rapports sont 1 à 3, 4 ou 6.

Vitesse moyenne de propagation pendant le vibratoire. — Cette vitesse est toujours supérieure à celle du mouvement continu. Elle croît avec l'amplitude et la rapidité de variation des vibrations. Dans le premier cas, les variations sont tantôt continues, tantôt intermittentes, c'est-à-dire que dans ce dernier cas la flamme se compose de la succession d'écoulements uniformes ayant des vitesses différentes.

Nous donnerons les vitesses relevées :
 1° Vitesses de la propagation de la flamme du

STATION DES MÉLANGES GAZEUX.

des de 0^m,02 de diamètre et de longueur

expérience (Pl. XI, fig. 3).

	Vitesse.	Observations.
,80	1 ^m ,30	Mouvement uniforme.
,00	5,50	— vibratoire.

expérience (Pl. XI, fig. 2).

,80	1 ^m ,24	Mouvement uniforme.
,80	22,00	— vibratoire.
,00	3,00	— —

expérience (Pl. XI, fig. 1).

,70	1 ^m ,25	Mouvement uniforme.
,50	5,30	— vibratoire.
,00	1,95	— —
,70	10,00	— —
,00	3,00	— —

exemples dans quelles limites la vitesse peut varier pendant le mouvement vibratoire jusqu'à vingt fois la valeur de la vitesse uniforme. Dans d'autres expériences, mélanges, cet écart pourrait être plus grand. On comprend donc les erreurs considérables on est exposé dans la détermination de la propagation pendant la période du mouvement, quand l'intervalle sur lequel on effectue la mesure prend une proportion plus ou moins considérable du mouvement vibratoire. On ne saurait donc donner des chiffres déterminés dans ces conditions, surtout quand on opère dans des conditions dans lesquelles le mouvement vibratoire varie plus rapidement. Comme la vitesse varie pendant les phases successives du mouvement. Pendant le mouvement de recul,

VITESSE DE PROPAGATION.

l'éclat est moindre que pendant le mouvement d'a différences d'éclat croissent avec l'amplitude du ment vibratoire ; elles deviennent assez considéra dant la période des grandes vibrations pour que l donne pendant une moitié de la vibration une im tographique noire intense, et ne donne aucune im dant la seconde moitié (Pl. X, *fig.* 1, 2, 3). Cela in en juger d'après l'expérience que nous pouvions . papiers photographiques employés, que l'intens neuse pendant les deux phases de ces vibrations v siblement dans le rapport de 1 à 10.

3° ONDE EXPLOSIVE.

Au cours de nos expériences, et particulièrement qui avaient pour objet l'étude des mélanges d'h et d'oxygène, nous avons observé que, dans certa constances, la vitesse de propagation pouvait dev considérable et dépasser plusieurs centaines de m seconde. Nos procédés d'expérimentation ne nous taient pas de mesurer avec exactitude de semb tesses, et nous avons simplement considéré la pi de ces vitesses énormes comme une conséquence de l'augmentation considérable que, d'après ce c avons reconnu, les mouvements vibratoires ou vements d'agitation irrégulière amènent dans la v propagation.

Les appareils que nous employions ne nous av permis de constater un fait important qui a été c par MM. Berthelot et Vieille, c'est que, lorsque ce exagérées se développent, elles atteignent un limite qui reste constante pendant toute la du rière du mouvement et qui se reproduit identi le même mélange gazeux d'une expérience à l'au valeur limite est ainsi *spécifique* pour ce mélange

Il y a donc là un mode particulier de propagation de la flamme, et les savants qui l'ont découvert lui ont donné le nom d'*onde explosive*.

La vitesse de cette onde explosive est extrêmement grande, comme on en jugera par les nombres suivants tirés du mémoire de MM. Berthelot et Vieille (*).

Mélanges.	Vitesse par seconde.
H + O	2.810 ^m
CO + O.	1.089
C ² H ⁴ + O ³	2.287
C ² Az + O ⁴	2.195

Ce n'est qu'après la publication de cette découverte importante, que nous avons eu l'idée de l'enregistrement photographique du phénomène de la propagation. Nous avons pu étudier ainsi le mode de production de l'onde explosive.

Nous avons reconnu que le développement de l'onde n'est pas progressif, mais toujours instantané. Les vitesses régulièrement croissantes qu'ont obtenues MM. Berthelot et Vieille avec le mélange tonnant H + O, proviennent vraisemblablement de ce que leurs mesures de vitesse portaient à la fois sur la totalité de la première période du mouvement uniforme, et sur des longueurs croissantes du parcours de l'onde explosive.

Au point de vue du développement de l'onde explosive, les mélanges de sulfure de carbone avec l'oxygène ou le bioxyde d'azote se comportent d'une façon absolument différente, et permettent de prévoir avec assez de vraisemblance ce qui doit arriver pour des mélanges gazeux quelconques. L'un, en effet, très lent, est comparable avec la plupart des mélanges gazeux formés par l'air, l'autre, très rapide, se rapproche de la plupart des mélanges tonnants formés par l'oxygène.

(*) *Bull. de la Soc. chim.*, 40, 353 (nov. 1883).

Le mélange tonnant de sulfure de carbone et de bioxyde d'azote ne donne que difficilement naissance à l'onde explosive. Ce phénomène ne s'observe jamais que dans les tubes ayant au moins $0^m,03$ de diamètre et 3 mètres de longueur; et encore même ne se produit-il pas régulièrement quand ces conditions sont remplies (Pl. X, *fig. 2*). Parfois l'onde ne prend pas naissance et le mouvement vibratoire continue avec ses variations habituelles jusqu'à la fin de la combustion; dans une expérience même, l'onde, après s'être développée sur un certain parcours, a cessé brusquement pour être remplacée de nouveau par la propagation vibratoire habituelle. Le point de départ de l'onde est toujours celui des grandes vibrations, son développement paraît intimement lié à l'amplitude de ces vibrations.

Le mélange de sulfure de carbone et d'oxygène donne au contraire toujours lieu à l'onde explosive, mais elle succède immédiatement à la période du mouvement uniforme; on aperçoit à peine quelques rudiments de vibration. Dans un tube en verre de $0^m,01$ la portion rectiligne de la courbe présente trois légères inflexions qui indiqueraient des vibrations de $0^m,01$ d'amplitude environ, c'est-à-dire très faibles et même indiscernables sur la *fig. 6*, Pl. XI. Dans le tube de $0^m,03$ la partie rectiligne présente alors dans son ensemble une légère inflexion qui peut passer pour une vibration naissante de longue période (Pl. XI, *fig. 5*). Le développement de l'onde a été précédé d'un ralentissement momentané qui correspondrait sensiblement au retour de l'onde comprimée développée à l'origine de la combustion et réfléchi sur l'extrémité fermée du tube.

Le passage de l'onde explosive est accompagné du développement de *pressions* instantanées énormes. Les tubes en verre de $0^m,01$ de diamètre intérieur, $0^m,002$ d'épaisseur ouverts à une extrémité, ont toujours été pulvérisés toute leur longueur en fragments de quelques millimètres. Et pourtant des tubes semblables résistent facilement à

pressions statiques d'une centaine
notre mémoire précédent sur les températures de combustion, nous avons déjà signalé des effets analogues de l'onde explosive. Nous faisons dégager les mélanges explosifs sous un entonnoir plongeant dans l'eau, qui était réduit en morceaux par l'explosion, bien que les gaz brûlés eussent un passage facile soit par le tube qui communiquait librement avec l'air, soit à travers l'eau qui n'opposait au dégagement du gaz d'autre résistance que son inertie. Ces effets sont tout à fait analogues à ceux que produit la détonation de certains explosifs solides ou liquides d'une composition homogène, tels que la nitroglycérine, le fulminate; ces corps peuvent exercer à l'air libre *des pressions énormes, des actions mécaniques énergiques* par suite de la rapidité de leur combustion.

L'éclat de la flamme pendant l'onde explosive est beaucoup plus considérable que pendant la propagation normale, comme le montre l'intensité des images photographiques qu'elle produit. Mais aussi l'extinction, le refroidissement des gaz brûlés, est beaucoup plus rapide; ils cessent de posséder une action photochimique sensible dans un intervalle de temps inappréciable, inférieur à $1/1000$ de seconde, tandis que pendant la combustion normale, les gaz brûlés mettaient souvent plusieurs centièmes de seconde à se refroidir ainsi. Cette particularité donne, comme nous le montrerons plus loin, des indications très intéressantes au sujet du mode de propagation de l'onde explosive.

4° EXTINCTION SPONTANÉE.

L'*extinction spontanée* de la combustion se produit fréquemment dans les tubes étroits dont le diamètre est peu supérieur à celui qui s'oppose complètement à la propagation de la flamme. Pour les mélanges voisins de leur

limite de combustibilité, le même effet se produit encore avec des tubes plus larges.

Nous avons observé cette extinction pour le mélange d'hydrogène et d'air à 30 p. 100 d'hydrogène dans un tube de 0^m,0009 de diamètre et 1 mètre de long. Sur six expériences, l'extinction s'est produite cinq fois. Avec le mélange CS² et AzO², nous avons toujours obtenu l'extinction dans les tubes de 0^m,01 de diamètre et 1 mètre ou plus de longueur (Pl. XI, *fig.* 4).

Les courbes photographiques obtenues avec ces derniers mélanges montrent que l'extinction suit toujours la production des vibrations de plus grande amplitude. Parfois l'extinction n'est pas complète ; à la suite d'une grande vibration, on voit l'image photographique disparaître complètement, puis reparaitre peu à peu avec une intensité très faible, les vibrations et la vitesse de propagation sont également très petites, c'est pour ainsi dire une extinction suivie d'une nouvelle inflammation ; puis de nouveau les vibrations augmentent peu à peu d'amplitude jusqu'au moment où l'extinction se produit subitement et d'une façon définitive.

L'extinction de la flamme, comme le développement de l'onde explosive, est donc intimement liée à la production des vibrations de grande amplitude.

INFLUENCE DU POINT D'INFLAMMATION SUR LE PHÉNOMÈNE DE LA PROPAGATION DE LA FLAMME.

Dans tout ce qui précède, le point d'inflammation était placé à l'extrémité ouverte du tube renfermant le mélange gazeux. C'est évidemment là un cas très particulier ; nous avons commencé par son étude à cause de la simplicité plus grande que présente le phénomène quand la masse gazeuse qui brûle reste en repos. Nous avons étudié ensuite ce qui se passe lorsqu'on porte le point d'in-

flammation à l'extrémité opposée du tube, c'est-à-dire contre celle qui est fermée.

C'est encore au mélange de CS^2 et Az O^3 que nous avons eu recours pour cette étude ; nous n'avons réussi à l'enflammer qu'au moyen d'une balle de fulmicoton imprégnée de chlorate de potasse, que nous allumions par une étincelle électrique. Les photographies obtenues nous ont montré, ce qu'avait déjà observé M. Schloesing, une accélération considérable de la flamme. La forme de la courbe est au début une parabole du second degré, c'est-à-dire que le mouvement de la flamme est uniformément accéléré. En employant un tube de 0^m,03 de diamètre et 2 mètres de long, la vitesse, très faible au début, avait atteint après 0^s,03 une vitesse voisine d'un millier de mètres. (La rotation de notre cylindre enregistreur n'était pas assez rapide pour nous permettre de mesurer des vitesses aussi considérables.) Puis, enfin, l'onde explosive a pris naissance, pulvérisant sur son parcours les cinquante derniers centimètres du tube.

Nous n'avons pu obtenir aucune mesure de vitesse avec les mélanges de formène et d'air, dont l'étude aurait présenté un grand intérêt au point de vue des explosions de grison. Nous avons seulement reconnu que, dans un tube de 0^m,03 de diamètre et 2 mètres de long, la durée de propagation de la flamme est tout à fait inappréciable à l'œil et à l'oreille ; c'est-à-dire vraisemblablement inférieure à 1/10 de seconde. La vitesse moyenne de propagation serait donc supérieure à 20 mètres par seconde. Le mouvement doit être régulièrement accéléré jusqu'au bout, puisque ce mélange n'est pas susceptible de donner lieu à l'onde explosive.

Quand, au lieu de prendre des tubes larges et courts, on prend des tubes étroits et longs, le phénomène change complètement de nature et présente des particularités très singulières. En allumant ainsi par l'extrémité fermée des

mélanges de gaz d'éclairage dans des tubes de 0^m,007 de diamètre et 2 mètres de long, nous avons observé que la flamme parcourt pour ainsi dire instantanément un intervalle de 0^m,50 environ, s'arrête, rétrograde lentement d'une dizaine de centimètres, s'arrête de nouveau, puis fait brusquement un second saut de 0^m,50, s'arrête encore, rétrograde, et ainsi de suite. Nous donnerons plus loin l'explication très simple de ces mouvements oscillatoires singuliers. Il arrive fréquemment que pendant le mouvement de recul la flamme s'éteigne brusquement.

Quand, enfin, on place le point d'inflammation en un point quelconque de la masse gazeuse, on peut aisément prévoir ce qui arrivera en combinant l'influence des deux modes d'inflammation précédemment étudiés.

IV. — Considérations théoriques.

Pour qu'il y ait propagation de la combustion dans un mélange gazeux, les deux conditions suivantes doivent être remplies. Il faut en premier lieu que la combustion puisse être provoquée *immédiatement* par une simple *élévation de température* et en second lieu que la *quantité de chaleur* dégagée par la combustion soit assez considérable pour que la fraction qui en est transmise aux parties voisines du mélange non encore brûlées puisse les élever jusqu'à leur *température d'inflammation*. Il en résulte immédiatement que la vitesse de propagation de la flamme est intimement liée à celle de transmission de la chaleur à travers les gaz.

Cette transmission de la chaleur peut se faire par un certain nombre de procédés entièrement distincts.

Les gaz brûlés et incandescents émettent de la *chaleur rayonnante* qui se propage avec une vitesse extrême; mais

avons eu l'occasion de le faire remarquer, à la *déflagration* et à la *détonation* des explosifs solides ou liquides.

En dehors de ces deux modes réguliers de propagation de la flamme, il peut s'en produire un troisième d'une nature très irrégulière et variable qui résulte du transport de la chaleur occasionnée par l'*agitation intérieure* de la masse gazeuse. Nous verrons qu'au point de vue des accidents de mines c'est de beaucoup le plus fréquent et le plus redoutable.

1° PROPAGATION PAR CONDUCTIBILITÉ.

Lorsqu'on provoque la combustion d'une masse considérable de gaz à la température θ , en portant l'inflammation en un point au moyen d'une étincelle électrique par exemple, la température T de la masse gazeuse après l'inflammation peut être calculée au moyen de l'expression

$$Q = C(T - \theta)$$

dans laquelle Q est la quantité de chaleur dégagée par la combustion de la masse gazeuse, et C la chaleur spécifique moyenne de cette même masse gazeuse après la combustion. On en tire.

$$T = \theta + \frac{Q}{C}.$$

D'après cette formule la température T , dépend donc d'une quantité invariable Q , d'une quantité C qui varie en général avec T , et d'une quantité θ qui dépend des conditions de l'expérience.

Il faut remarquer d'ailleurs que la formule exprime que le gaz a été échauffé uniquement par la chaleur que la combustion a rendue libre; elle suppose donc qu'on a considéré comme négligeable la quantité de chaleur communiquée par l'étincelle ou le procédé quelconque qui a déterminé la combustion.

quantité de chaleur représentée par l'aire infiniment petite $tt'\theta\theta'$, laquelle est égale au rectangle $AA'tt'$. Cette quantité de chaleur n'est autre que celle qui est nécessaire pour élever la tranche gazeuse d'épaisseur ds , de la température θ à la température t , elle est donc égale à

$$C'(t - \theta) ds.$$

La quantité de chaleur perdue par la partie postérieure du tube doit être égale à celle-là. Or la tranche A qui cède de la chaleur en avant est à la température T' et se trouve comprise entre une tranche à la température t et une tranche à la température T . La quantité de chaleur cédée pendant l'unité de temps sera une fonction de T et de t , et l'on pourra poser ainsi

$$C'(t - \theta) ds = d\tau F(T, t),$$

d'où l'on tire pour la vitesse v de propagation.

$$(1) \quad \frac{ds}{d\tau} = v = \frac{F(T, t)}{C'(t - \theta)}.$$

Nos expériences sont insuffisantes pour déterminer la forme de la fonction $F(T, t)$. Toutefois on peut penser qu'elle est proportionnelle à la conductibilité L du gaz non brûlé, enfin qu'elle s'annule pour $T=t$, et seulement pour cette valeur de T . Il semble en effet que lorsque la température de combustion T l'emporte sur la température d'inflammation, la combustion développant une certaine quantité de chaleur, la chaleur nécessaire à l'inflammation d'une tranche peut être transmise intégralement. On peut donc mettre l'expression de v sous la forme

$$(2) \quad v = \frac{L(T - t)}{C'(t - \theta)} f(T, t),$$

et il peut se faire que $f(T, t)$ soit une constante.

Cette analyse du phénomène de la propagation de la flamme, tout incomplète qu'elle est, conduit à quelques conséquences intéressantes.

gés, on peut déterminer avec quelque exactitude où la courbe des vitesses a une ordonnée nulle terminent les mélanges où la propagation de la flamme est impossible.

Pour les mélanges d'hydrogène et d'air, nous avons trouvé que la vitesse de propagation est nulle pour un mélange renferme 6 p. 100 d'hydrogène, soit 12,6 p. 100 de mélange tonnant, et 80 p. 100 d'hydrogène, soit 12,6 p. 100 de mélange tonnant.

Nous verrons, dans une autre partie du travail, que les mélanges d'hydrogène et d'air qui développent une flamme à l'air libre, une température de 550 degrés, celle d'inflammation de ces mélanges, contiennent de 6 à 12 p. 100 de mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, c'est-à-dire que l'un contient 0,066 et l'autre 0,84 d'hydrogène. Ces nombres sont peu différents de ceux qui donnent une vitesse de propagation nulle.

Il en est tout autrement pour les mélanges de formène et d'air. Les mélanges de nulle propagation contiennent 0,056 et 0,167 de formène; or, le premier correspond à une température de combustion voisine de 1000 degrés, par conséquent beaucoup plus élevée que la température d'inflammation qui est égale à 650 degrés, comme nous l'avons vu dans un mémoire précédent.

La raison de cette anomalie doit sans doute être cherchée dans le phénomène singulier que nous avons signalé pour les mélanges dans lesquels le formène est l'élément combustible. Ces mélanges, en effet, ne s'enflamment pas même quand ils sont portés à la température d'inflammation. Il y a un retard à la combustion, et ce retard est d'autant plus grand que la température à laquelle le gaz est plus voisin de celle d'inflammation. Dans ces conditions on comprend que la combustion ne peut se propager qu'à la condition que la température de

tion soit très notablement supérieure à celle d'inflammation.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE INITIALE.

La vitesse de propagation est, d'après la formule (2), inversement proportionnelle à $t - \theta$; elle tendrait à devenir infinie quand $t = \theta$, ce qui est évident, puisqu'alors chaque point de la masse gazeuse étant à la température d'inflammation, la combustion se produit à la fois dans toute la masse. Lorsqu'on augmente θ , c'est-à-dire la température initiale du gaz, on diminue $t - \theta$, et par conséquent on augmente la vitesse de propagation. C'est, en effet, ce que nous avons constaté directement sur les mélanges d'hydrogène et d'air (voy. p. 321). Mais il est peu probable que l'on arrive à obtenir des vitesses croissant indéfiniment et d'une façon progressive en faisant décroître $(t - \theta)$; on obtiendrait bientôt le développement de l'onde explosive.

INFLUENCE DU DIAMÈTRE DES TUBES.

Jusqu'ici nous avons supposé que la paroi du tube ne cédait ni ne prenait aux gaz aucune quantité de chaleur. Cette hypothèse n'est jamais réalisée, et la quantité de chaleur soustraite par le tube froid aux gaz chauds pendant le temps que la tranche enflammée reste en contact avec lui, abaisse la température de combustion et diminue par conséquent la vitesse de propagation.

La quantité de chaleur soustraite à la tranche gazeuse est proportionnelle au périmètre $2\pi r$ du tube supposé circulaire, à l'excès $T - \theta$ de la température de la tranche sur celle du tube, et à un certain coefficient de conductibilité k . On aura donc, Q étant la chaleur de combustion, C la cha-

leur spécifique des gaz brûlés dont la masse est proportionnelle à r^2 et à la vitesse de propagation v .

$$Qr^2v = Cr^2v(T - \theta) + kr(T - \theta),$$

d'où l'on tire :

$$T = \theta + \frac{Q}{C + \frac{k}{rv}}.$$

La température T ne sera pas modifiée lorsque $\frac{k}{rv}$ sera négligeable vis-à-vis de C , ce qui exigera que r et v soient suffisamment grands.

Nous avons supposé que la température était la même dans tous les points d'une même section et qu'ainsi la surface de la flamme était plane. C'est ce qui n'aura jamais lieu, en vertu de l'influence refroidissante de la paroi. Il est évident qu'il y aura le long des parois du tube une zone annulaire très étroite dans laquelle la température ira rapidement en croissant depuis la température de la paroi jusqu'à la température d'inflammation. Le gaz contenu dans cette zone échappe à la combustion et ne brûle qu'après s'être diffusé dans les gaz chauds. A partir de cette zone commence la flamme, dont la température va elle-même en croissant jusqu'au centre du tube.

La vitesse de propagation croissant avec la température de la flamme, est plus grande au centre que sur les bords, et la surface de la flamme forme ainsi une sorte de ménisque, convexe du côté de la propagation, et dont les bords ne touchent pas la paroi. La courbure de ce ménisque sera évidemment d'autant plus grande au sommet que le diamètre du tube sera plus petit.

INFLUENCE DE L'AGITATION.

Lorsque le gaz dans lequel progresse la flamme est à l'état d'agitation, la vitesse de propagation augmente parce

VITESSE DE PROPAGATION.

sa valeur normale. L'influence de la contraction de
alors d'autant plus prépondérante que la production
gaz brûlés devient moins rapide, et la flamme rétroq
jusqu'au moment où tous les gaz brûlés sont refroid
partir de cet instant la dilatation des gaz brûlés rej
son influence et la flamme se porte en avant pour re
encore en arrière, et ainsi de suite.

La longueur du chemin parcouru dans chacune de
riodes de ce mouvement saccadé diminue avec la rapid
refroidissement, c'est-à-dire, toutes choses égales, av
diamètre du tube et avec la vitesse normale de prop
tion.

Extinction spontanée. — Il arrive parfois, quan
tubes sont assez étroits, que la flamme s'éteigne brus
ment pendant le mouvement saccadé. Cette extin
spontanée a même été observée avec le mélange toi
d'hydrogène et d'oxygène, par MM. Berthelot et V
dans une expérience où ils ont cherché à obtenir la
pagation de l'onde explosive à travers un tube de 1
mètre de diamètre intérieur. Nous avons reconnu
cette extinction ne se produit que pendant le mouve
de recul de la flamme, c'est-à-dire quand il y a d
dance entre le sens de propagation de la flamme et
de translation des tranches gazeuses.

On peut expliquer cette influence du sens du mouve
de translation des tranches gazeuses en s'appuyant
fait bien connu, que, lorsque un gaz circule dans un
la vitesse varie d'un point à l'autre de la section, d
depuis le centre où elle est maxima jusqu'au vois
immédiat de la paroi où elle est nulle. Nous avons
d'autre part que la flamme ne touche jamais les par
tube, et qu'il existe contre celles-ci une zone froide
précisément qui reste en repos) qui n'intervient qu
rieurement dans le phénomène de combustion, lorsq

STION DES MÉLA

la partie centu
oidissante des
pagation, c'est-à-dire quand le mélange
s, la zone contiguë aux parois du tube
nt de la flamme et *immédiatement der-*
gazeux combustible, un peu plus loin
gaz combustible et de gaz brûlés, enfin,
stance en arrière, exclusivement de gaz

tenant le gaz animé d'un mouvement de
is opposé à celui de propagation de la
qui n'occupe que la partie centrale du
pas les parois du tube, va se déplacer
upérieure à celle du gaz contenu dans la
rrivera en face des points où cette zone
exclusivement de gaz brûlés et la dépas-
rtir de ce moment la zone froide entou-
azeux combustible en avant de la flamme
e renfermait que du gaz combustible,
z brûlés qui se mêleront presque immé-
combustible de la partie centrale et en
osition. Il pourra arriver que le mélange
nne incombustible, et que la flamme
tat sera d'autant plus facilement atteint
azeux sera plus rapproché de sa limite
et que le rapport de la zone annulaire
totale du tube est plus grand. Ce rap-
raison inverse du diamètre du tube et
ale de la propagation de la flamme.

ns au contraire le mouvement de trans-
ême sens que celui de la propagation de
e froide en avant de la flamme ne sera
ar suite la composition du mélange com-
pas altérée. La modification de la zone
arrière la flamme, c'est-à-dire qu'il pas-

sera en arrière de celle-ci une plus grande quantité de mélange combustible non encore brûlé ; ce mélange brûlera bientôt en se diffusant au milieu des gaz chauds déjà brûlés.

Tout ce qui précède se rapporte à la propagation de la flamme dans un tube. La propagation dans une masse gazeuse indéfinie donne lieu à quelques remarques intéressantes.

INFLUENCE DU VOLUME DE LA SOURCE DE CHALEUR.

Supposons que l'inflammation soit portée au sein d'une masse explosive indéfinie par une sphère dont la température est supérieure à celle d'inflammation du mélange gazeux.

Considérons d'abord le cas où le rayon de la sphère est très petit. Avant que les molécules en contact avec la sphère arrivent à la température d'inflammation, les molécules gazeuses prennent sur une certaine épaisseur des températures qui vont graduellement en décroissant à mesure qu'on s'éloigne de la sphère chaude. Il faut donc que celle-ci soit capable de communiquer une certaine quantité de chaleur au gaz environnant avant que la combustion prenne naissance, et cela sans que sa température s'abaisse au-dessous de celle d'inflammation du gaz. La quantité de chaleur communiquée par la sphère au gaz ambiant dans un temps donné est proportionnelle au carré du rayon de cette sphère, d'autre part la quantité totale de chaleur qu'elle possède est proportionnelle au cube de ce même rayon. On voit donc que le rapport de ces deux quantités dont dépend la propagation de la combustion croît proportionnellement au rayon de la sphère. Le volume minimum nécessaire sera d'ailleurs d'autant plus petit que la température sera plus élevée.

L'observation confirme ce résultat et montre que l'étincelle électrique qui a une température très élevée, mais

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

est insuffisante à provoquer l'inflammation des gaz peu combustibles, qui brûlent au contraire lorsqu'on porte l'inflammation au moyen d'un corps plus chaud, mais beaucoup plus large.

On prend maintenant un mélange gazeux non explosif, et un gaz combustible, mais dans des proportions telles que le mélange soit impropre à la combustion. La combustion se produira néanmoins si on porte le mélange à la température d'inflammation. Si au milieu d'un semblable mélange on place une sphère dont la température soit constante, soit très supérieure, soit inférieure à celle d'inflammation du mélange. Dans une zone voisine à la sphère, et dont le rayon sera d'autant plus grand que la température de cette sphère sera plus élevée, il y aura une température supérieure à celle d'inflammation du mélange gazeux. Le mélange entrera dans cette zone, et comme en chaque point de cette zone développée par la combinaison augmentera l'étendue de la zone, dans laquelle existe une température égale ou supérieure à celle de l'inflammation, la zone sera naturellement augmentée.

On trouve ainsi entourée d'une auréole enflammée, dont l'épaisseur sera d'autant plus grande que la température sera plus grande et plus chaude, et que le mélange se rapprochera davantage de la limite d'inflammation.

On observe un phénomène analogue en plongeant un corps non explosif d'un gaz ambiant et d'un gaz combustible comme d'une bougie. Si le gaz est tout à fait inflammable, le mouvement du gaz ambiant, et son apport vers l'appel de la chaleur dégagée par la combustion, sont verticalement au-dessus de celle-ci une zone de température qui est beaucoup moindre lorsqu'on se rapproche de la flamme, soit latéralement, soit au-

VITESSE DE PROPAGATION.

dessous. Si le gaz peut brûler sous l'influence d'une élévation de température convenable, il viendra donc former dessus de la flamme un panache dont l'élévation sera d'autant plus grande que la flamme est de dimension plus considérable et que le mélange s'approche davantage d'un combustible. C'est la production de ce panache au-dessus de la flamme des lampes qui avertit les mineurs de la présence du grisou longtemps avant que ce gaz soit en proportion suffisante pour former un mélange explosif.

2^e PÉRIODE DU MOUVEMENT VIBRATOIRE.

Le mouvement vibratoire qui succède régulièrement au mouvement uniforme est essentiellement différent du mouvement saccadé que nous avons étudié plus haut. Les vibrations, sans être toujours plus régulières, sont beaucoup plus rapides que les oscillations du mouvement saccadé ; elles sont au nombre de plusieurs centaines par seconde. C'est donc le mouvement vibratoire ordinaire des gaz dans un tube, auquel la flamme participe.

L'explication du développement de ce mouvement vibratoire nécessite l'intervention de deux phénomènes distincts : dont l'un est la cause de la production des premières vibrations, et l'autre celle de leur renforcement ultérieur.

On sait que toutes les fois qu'un gaz s'écoule dans une atmosphère par l'extrémité ouverte d'un tube, la colonne gazeuse renfermée dans le tube entre tout entière en vibration. Cette condition se trouve remplie pendant la propagation de la flamme, puisque la dilatation des gaz brûlés les force à s'écouler par l'extrémité ouverte du tube. C'est là l'explication de la production des premières vibrations, mais cette cause est insuffisante pour rendre compte de l'intensité énorme que prend bientôt ce mouvement vibratoire.

se produit toujours à un ventre, dont la distance à l'une des extrémités est une fraction simple de la longueur totale du tube.

3° PROPAGATION PAR COMPRESSION OU ONDE EXPLOSIVE.

Le gaz augmentant de volume par la combustion exerce sur le gaz contigu non encore brûlé une certaine compression, et il est possible de concevoir que cette compression puisse être assez élevée pour porter la tranche voisine à la température d'inflammation. On comprend donc la possibilité de la propagation de l'inflammation par la propagation de la compression. Il reste à voir dans quelles conditions le phénomène peut se produire.

Considérons par exemple le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène. D'après nos expériences, il s'enflamme à 555° et la pression exercée après la combustion en vase clos est de 10 atmosphères. Une tranche infiniment mince enflammée par échauffement atteint au plus cette pression et ne peut pas en exercer une plus élevée sur la tranche contiguë non enflammée.

Une compression de 10 atmosphères dégage une quantité de chaleur que la thermodynamique permet de calculer très simplement, et qui est insuffisante pour produire une élévation de température égale à celle d'inflammation. Il faudrait pour obtenir cette température une compression d'environ 30 atmosphères. L'onde explosive ne paraît donc pas pouvoir prendre naissance dans ces conditions : la quantité de chaleur transformée en travail mécanique pendant la détente et transportée sous cette forme à travers la masse gazeuse est une fraction trop faible de la chaleur totale de combustion.

Supposons maintenant que l'inflammation de la première tranche ne soit pas produite par échauffement, mais soit

due à une compression convenable, c'est-à-dire d'au moins 30 atmosphères, que l'on peut facilement obtenir par la détonation d'un peu de fulminate de mercure. Après la combustion, la pression de la tranche enflammée décuplera, ou au moins s'élèvera beaucoup au-dessus de sa pression initiale, qui était de 30 atmosphères, et pourra, par suite, exercer sur la tranche suivante une compression suffisante pour en provoquer l'inflammation. Celle-ci continuera donc à se propager de proche en proche par le même mécanisme.

Le mode d'inflammation influe ainsi sur la proportion de chaleur qui peut être transformée en travail mécanique par la détente des gaz brûlés. C'est là un résultat bien connu de la théorie des machines à gaz, dont on augmente considérablement le rendement en comprimant le mélange explosif avant de l'allumer. Cette transformation considérable de chaleur en travail est mise en évidence d'une façon très nette par nos photographies; pendant la propagation de l'onde explosive, l'éclat du mélange cesse en même temps que la détente dont la durée ne dépasse guère un millième de seconde. Dans la propagation normale, au contraire, chaque tranche gazeuse reste lumineuse $1/100^e$ de seconde et plus; c'est-à-dire que le refroidissement dû à la détente ne suffit pas pour faire disparaître complètement l'éclat lumineux des gaz.

Cette théorie suppose le développement de pressions énormes sur le passage de la flamme, résultat parfaitement conforme à l'expérience. L'onde explosive a toujours pulvérisé sur son passage les tubes que nous employions, lorsque leur diamètre n'était pas inférieur à $0^m,01$, et dont l'épaisseur était de $0^m,002$. Des semblables tubes pourraient supporter des pressions statiques de plusieurs centaines d'atmosphères. Nous avons retrouvé ces mêmes pressions considérables et instantanées dans les mesures de température de combustion faites avec l'audio-

mètre de M. Deprez. Nous les avons obtenues avec un certain nombre de mélanges gazeux, qui se sont précisément trouvés être ceux dans lesquels MM. Berthelot et Vieille ont observé le développement de l'onde explosive.

Cette théorie rend compte également de ce fait, que les limites d'explosivité et les limites d'inflammabilité ne sont pas les mêmes, la quantité de chaleur transportée dans l'onde comprimée ne pouvant jamais être qu'une fraction de la chaleur totale de combustion.

Nous avons supposé jusqu'ici que le mode d'inflammation décidait seul du mode de propagation de la flamme. On sait qu'il en est ainsi pour un grand nombre d'explosifs solides ou liquides, la dynamite par exemple. Mais avec les explosifs gazeux, l'expérience montre qu'il en est tout autrement; la propagation ordinaire de la combustion se transforme spontanément avec une grande facilité en propagation explosive. La théorie précédente montre que pour que cette transformation puisse se produire, il suffit qu'une tranche au moment de son inflammation se trouve, par une cause quelconque, portée à une pression convenable. Or nos expériences photographiques nous ont révélé trois causes de compression pouvant amener ce résultat :

1° Le *mouvement vibratoire* qui est accompagné de compression et détente successive. Dans les mélanges *lents* de sulfure de carbone et bioxyde d'azote, l'onde explosive prend toujours naissance pendant la période des grandes vibrations;

2° Le *retour de l'onde comprimée*, qui se développe au moment de l'inflammation des mélanges *rapides* et va se réfléchir à l'extrémité fermée du tube. L'explosion paraît se produire ainsi dans le cas du mélange de sulfure de carbone et d'oxygène; mais l'onde comprimée est trop faible dans les mélanges lents pour amener le même résultat;

3° La *dilatation des gaz brûlés*, quand on enflamme le

mélange gazeux près de l'extrémité fermée du tube qui le renferme. Nous avons obtenu de cette façon l'onde explosive dans le mélange de bioxyde d'azote et de sulfure de carbone.

La théorie que nous proposons rend bien compte des principales particularités qui caractérisent la propagation par onde explosive. Elle montre pourquoi la vitesse de propagation de cette onde est constante avec la nature et les proportions du mélange gazeux. Cette vitesse ne doit être autre chose que la vitesse du son dans le mélange considéré. Il est vrai que la vitesse du son, dans les conditions expérimentales ordinaires, est beaucoup moins considérable que celle de l'onde explosive, mais il faut remarquer que cette onde se propage dans des conditions de température extrêmement différentes de celles dans lesquelles la vitesse du son a été mesurée. On sait que cette vitesse croît proportionnellement à la racine carrée du quotient de la pression du gaz par sa densité, c'est-à-dire en raison inverse de la racine carrée de la température absolue. L'échauffement dû à la combustion produirait donc une accélération analogue comme origine, sinon comme grandeur, à celle que produit normalement l'échauffement résultant de la simple compression de l'onde sonore ordinaire.

V. — Applications pratiques.

La rapidité de la propagation de la flamme joue un rôle important dans tous les phénomènes occasionnés par la combustion des mélanges gazeux. C'est d'elle que dépendent principalement la violence des *explosions du grisou* dans les mines, *les caractères indicateurs de la présence de ce gaz*, le degré de sécurité des *lampes de mines* et de

tous les autres appareils à treillis métalliques employés dans les laboratoires, tels que le chalumeau à gaz tonnant, le bon fonctionnement des *brûleurs à gaz* employés pour des usages si variés.

Nous allons rapidement passer en revue ces divers phénomènes et les étudier en leur appliquant les principes précédents.

EXPLOSIONS DE GRISOU.

Nos expériences ont montré que, dans les mélanges les plus détonants de grisou et d'air, la vitesse normale de propagation de la flamme ne dépasse pas 0^m,60 par seconde, mais que sous l'influence d'une agitation convenable, cette vitesse peut certainement dépasser 20 mètres. Les expériences de MM. Berthelot et Vieille ont montré d'autre part que l'onde explosive ne pouvait pas se développer dans ces mélanges.

La violence plus ou moins considérable des explosions dépendra donc uniquement du degré d'agitation de l'air grisouteux pendant sa combustion; cette agitation dépendra elle-même de la disposition des lieux et des conditions de l'inflammation.

Dans des circonstances particulières la combustion pourra avoir lieu sans explosion, la flamme se propageant avec sa vitesse normale de 0^m,60 ou à peu près, comme cela se passe dans les tubes fermés à une extrémité quand on allume le gaz à l'extrémité ouverte. Ces conditions se trouveront remplies lorsqu'un ouvrier cherchera à pénétrer, avec une lampe à feu nu à la main, dans une galerie en cul-de-sac remplie de mélange explosif. Il n'y aura pas dans ce cas d'explosion, c'est-à-dire que la combustion ne sera accompagnée d'aucun effet mécanique, ne sera signalée par aucun bruit. Tous les dégâts seront dus soit à l'action calorifique de la flamme, soit au pouvoir asphyxiant des gaz,

Malgré la faible vitesse de la flamme, l'ouvrier auteur de l'accident aura peu de chance de s'échapper, parce que la vitesse d'écoulement des gaz brûlés, sera environ sept fois plus grande que celle de la flamme, c'est-à-dire de près de 4 mètres par seconde; il lui serait donc impossible d'éviter leur atteinte, si, comme nous l'avons supposé, la galerie est remplie tout entière du mélange le plus explosif. Le point où les effets calorifiques seront les plus intenses sera l'entrée de la galerie où passera la flamme de la totalité du mélange explosif. A l'extrémité fermée de la galerie les effets calorifiques seront relativement peu intenses, parce qu'en ce point le volume des gaz brûlés sera un minimum. C'est un fait bien connu que les ouvriers travaillant dans un chantier en cul-de-sac présentent après un accident des brûlures moins profondes que ceux qui se trouvent un peu plus loin dans la galerie. On se tromperait étrangement si on tirait de ce fait la conclusion que le chantier était relativement exempt de gaz au moment de l'explosion, et que par suite l'origine de celle-ci doit être cherchée ailleurs.

Si au contraire nous supposons l'inflammation portée à l'extrémité fermée d'une galerie en cul-de-sac, ce qui pourra être occasionné par l'ouverture d'une lampe, le tirage du coup de mine, il se produira une violente explosion signalée par un bruit intense, et produisant sur son passage des effets mécaniques redoutables; c'est qu'alors la vitesse de propagation de la flamme pourra être centuplée; les pressions produites se rapprocheront de celles que nous avons obtenues en vase clos, soit 7 atmosphères, ou 70.000 kilogrammes, par mètre carré superficiel. Il arrivera de plus que la majeure partie du mélange explosif pourra être refoulée dans des galeries d'aérage certainement exemptes de grisou en temps normal et y produire les ravages les plus effrayants. Ce fait s'est produit dans un grand nombre d'accidents de mines, et faute d'en avoir trouvé la véritable

explication, on a attribué à ces accidents des origines fort peu vraisemblables. Les explosions se produisant dans ces conditions sont doublement désastreuses, et par les effets qu'elles produisent directement, et par l'agitation qu'elles créent dans toute la mine. La violence du vent soulève les poussières et les jette dans la flamme dont elles augmentent l'intensité; les changements brusques et énormes de pression arrachent des remblais, des cloches, les amas de grisou qui y sont toujours bien plus abondants que dans les galeries; si bien qu'une mine bien aérée, et en apparence exempte de grisou, pourra être parcourue dans toute son étendue par la flamme de ce gaz. Dans les explosions de ce genre, les effets calorifiques répartis sur une plus grande étendue devraient être moins considérables si les poussières et le gaz, sortant des remblais en augmentant la quantité de chaleur totale, ne venaient pas compenser l'effet produit par une répartition différente de la flamme. Ce sera toujours dans les chantiers en cul-de-sac, même dans celui qui aura été le point de départ de l'explosion que les traces du feu seront les moindres.

Si l'on suppose enfin l'inflammation mise au milieu d'une galerie communiquant par ses deux extrémités avec le reste de la mine, et c'est là le cas général, les choses se passeront à peu près comme dans le cas précédent, à cela près que la flamme se propagera simultanément dans deux directions opposées. Si les résistances à l'écoulement du gaz sont en effet les mêmes dans les deux sens, il n'y aura pas de mouvement au point d'inflammation, ce point pourra donc être considéré comme l'extrémité fermée de deux tubes juxtaposés bout à bout. Dans le cas où la résistance serait inégale, l'explosion atteindra sa plus grande violence dans la direction de moindre résistance.

INDICATEURS DE GRISOU.

Les mineurs reconnaissent la présence du grisou dans l'atmosphère des mines à l'auréole bleue que ce gaz produit en venant brûler autour de la flamme de leurs lampes. Nous avons montré plus haut (voir p. 353) comment la chaleur fournie par une flamme un peu volumineuse pouvait, en élevant la température initiale d'un mélange naturellement ininflammable, provoquer sa combustion dans une zone d'autant plus large que le mélange est plus près de sa limite de combustibilité, et que la flamme présente un plus grand volume.

On arrive par ce procédé à reconnaître très facilement 3 p. 100 de grisou dans l'air, c'est-à-dire une quantité inférieure de moitié à celle qui correspond à la limite d'inflammabilité. Pour obtenir ce résultat, on est obligé de baisser la flamme de la lampe jusqu'à ce qu'elle ne présente plus aucun point brillant et soit devenue complètement bleue. En diminuant ainsi le volume de la flamme, on diminue aussi il est vrai celui de l'auréole; mais on augmente beaucoup d'autre part la sensibilité de la vue, qui n'étant plus éblouie par une lumière éclatante, distingue plus facilement l'auréole bleue très peu éclairante que produit la combustion du grisou.

Pour les quantités de gaz inférieures à 3 p. 100, l'auréole existe toujours, mais elle cesse d'être perceptible dans les conditions normales d'observation. Nous avons montré qu'au moyen de précautions spéciales, en cachant la flamme par un écran et surtout en faisant projeter l'auréole sur un fond d'un *noir absolu*, on arrive à la voir lorsque la proportion de grisou n'est plus que de 1/2 p. 100.

Enfin on peut même arriver à déceler la présence de 1/4 p. 100 seulement de ce gaz dans l'atmosphère des mines, en remplaçant la flamme de la lampe à huile par

celle de l'hydrogène, qui, tout en présentant une température très élevée, a un éclat lumineux extrêmement faible. Nous renverrons, pour plus de détails au mémoire que nous avons publié antérieurement sur ce sujet dans les *Annales des mines* (*).

APPAREILS DE SURETÉ A TREILLIS MÉTALLIQUE.

Nous avons vu que la flamme d'un mélange gazeux donné ne peut traverser un tube que lorsque celui-ci a un diamètre suffisant, diamètre qui dépend de la vitesse propre du mélange. Pour les tubes plus étroits, la flamme s'éteint en diminuant progressivement d'étendue, après avoir pénétré dans le tube d'une certaine longueur comparable à son diamètre. Si le tube était plus court que cette longueur, il ne pourrait évidemment pas s'opposer à la propagation de la flamme. Ces quelques principes permettent d'expliquer aisément le rôle des toiles métalliques qui peuvent être considérées comme formées par la juxtaposition d'un grand nombre de tubes très courts. Une semblable toile placée au milieu d'une masse gazeuse *en repos* arrêtera la flamme, et par suite amènera son extinction pour tous les mélanges dont la vitesse de propagation est inférieure à une certaine valeur. Il est impossible de donner une relation précise entre la valeur de cette vitesse et l'ouverture qu'il faut donner aux mailles, parce que la longueur du tube que forme chaque maille varie avec le diamètre du fil employé. Ainsi les mélanges les plus détonants de grisou et d'air ne traversent pas un tube de 0^m,0032 de diamètre, mais ils traverseraient à coup sûr une toile métallique présentant des ouvertures de ce diamètre. La détermination des dimensions convenables pour éteindre la

(*) *Annales des mines*, 7^e série, t. XIX, p. 186.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

Les conditions que nous avons admises, ne sont aucun intérêt au point de vue pratique ; elles ne remplissent jamais la condition que nous avons admise : l'immobilité absolue du mélange gazeux. On obtiendrait ne serait donc qu'un maximum qui se maintiendrait toujours se tenir très éloigné.

Un mélange gazeux en combustion est toujours en mouvement ; les mouvements intérieurs résultant de la densité des gaz brûlés qui occasionnent des courants de circulation verticale, de la dilatation des gaz qui occasionne un mouvement de sortie des gaz par l'orifice où ils sont enfermés, enfin des causes extérieures de l'appareil qui peuvent occasionner soit des courants dans la masse gazeuse, soit le mouvement de la masse gazeuse en repos.

Les conditions modifient du tout au tout les conditions de la combustion ; en premier lieu la flamme, au lieu d'être fixe sur la toile faite d'aliment, comme cela a lieu dans un mélange gazeux en repos, continue à brûler avec un renouvellement du gaz ; la toile s'échauffe par le mélange gazeux qui traverse ses orifices ; la propagation augmentant avec la température, on doit porter la toile des mailles d'autant plus étroites qu'on veut la porter à une température plus élevée. La température à laquelle elle sera portée dépend du reste de la circulation des gaz, de la quantité de gaz qui passe par leur combustion, et enfin de l'étendue de la surface rayonnante, c'est-à-dire du diamètre des fils de la toile et de l'élévation de température.

Les conditions modifient encore la sécurité des toiles ; la longueur à laquelle pénètre la flamme dans la toile ; elle augmente ou diminue cette longueur, selon que le mouvement est ou non concordant avec la propagation de la flamme.

Une application sommaire de ces principes

généraux à quelques-unes des lampes de sûreté employées dans les mines et à quelques appareils de laboratoire.

Lampe Davy. — Cette lampe est formée par un treillis métallique cylindrique entourant la flamme d'une mèche à huile. Plongée dans un mélange gazeux explosif, elle se remplit de gaz qui s'allume à un moment donné à la flamme, se propage de proche en proche jusqu'au treillis, et y arrive avec une certaine vitesse causée par la dilatation des gaz brûlés. Un calcul très simple montre que cette vitesse croît proportionnellement aux dimensions du treillis; elle sera donc d'autant plus grande que le treillis sera plus grand. De ce fait la sécurité décroît donc, au moins en théorie, si l'on augmente les dimensions de la lampe. En fait, ce danger n'existe pas avec la lampe de dimensions usuelles. Nous n'avons jamais pu obtenir de cette façon le passage de la flamme, en remplaçant le grisou par du gaz d'éclairage et la flamme de la lampe par une étincelle électrique, deux circonstances qui aggravent certainement le danger.

La flamme arrivée contre le treillis s'y arrête donc sans le traverser; mais elle ne s'éteint pas non plus, parce que, par suite de la diminution de densité des gaz brûlés, il se produit une circulation qui fait continuellement arriver par la base de la lampe des nouvelles quantités de gaz frais. Le treillis s'échauffe et rougit; la température stationnaire qu'il prendra sera d'autant plus élevée que la circulation du gaz est plus rapide, c'est-à-dire que la hauteur du treillis est plus grande, et le rapport des vides aux pleins plus petit. L'expérience montre qu'il est possible de trouver des dimensions convenables telles que le tamis puisse rougir sans cependant communiquer le feu au dehors. Mais la sécurité qu'offre la lampe dans ces conditions est extrêmement précaire; le moindre courant d'air, la moindre agitation de la lampe, suffit pour faire passer la flamme au dehors. Nos expériences, d'accord avec les expériences antérieures, ont

des courants d'air. Le treillis extérieur ne serait même donc pas indispensable.

Nous avons supposé dans ce qui précède la lampe en marche normale, c'est-à-dire avec une grande flamme. Mais lorsque la mèche est très basse et donne une toute petite flamme, ce qui rend plus facile la constatation de petites quantités de gaz dans l'air de la mine, la cheminée n'est plus remplie des produits de la combustion. Si la lampe est portée alors dans un mélange explosif, la flamme pourra se propager par l'intérieur de la cheminée dans le cylindre extérieur, et l'on se retrouvera alors dans les conditions défectueuses de la lampe à simple treillis métallique. Mais de plus la flamme sortira par la cheminée avec une certaine vitesse, par suite de la dilatation des gaz brûlés dans l'intérieur du cylindre du verre ; elle conservera encore une partie de cette vitesse en arrivant contre le fond supérieur du treillis et pourra le traverser immédiatement. C'est ainsi que l'on peut rendre compte des expériences curieuses de M. Marsaut sur la lampe Mueseler. Il ne faut pas cependant exagérer outre mesure la gravité de ce danger, car nous n'avons réussi à faire sortir ainsi la flamme de la lampe Mueseler, qu'en remplaçant le grisou par du gaz d'éclairage, la flamme de la lampe par une étincelle électrique, et en remplaçant l'anneau de toile métallique horizontal par un écran plein pour réduire les orifices d'écoulement du gaz. Ce sont là évidemment des conditions bien éloignées de celles de la pratique.

Ces deux exemples suffisent pour montrer comment les phénomènes de propagation de la flamme interviennent dans la théorie des lampes de sûreté, et comment l'application peut en être faite à des types différents de ceux que nous avons étudiés.

Appareils de laboratoires. — Dans les expériences sur les mélanges explosifs, on emploie souvent des toiles mé-

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

ues destinées à empêcher l'inflammation de se propager jusqu'au réservoir renfermant le mélange gazeux. C'est le cas, par exemple, de l'ancien chalumeau à gaz dans lequel on brûlait un mélange préparé à l'avance d'hydrogène et d'oxygène. Nous avons fait nous-mêmes dans nos expériences un usage continu des toiles métalliques. Les quelques considérations qui vont suivre sont donc pas d'ordre exclusivement théorique, ce sont tout des résultats de notre expérience personnelle. Le fait principal à connaître dans l'emploi des toiles métalliques, est que, quelles que soient les précautions prises, on se laisse toujours un jour ou l'autre traverser par la flamme, et souvent sans qu'il soit possible de préciser la cause qui a occasionné cet accident, ni par suite de prendre les précautions voulues pour éviter son retour. C'est dans la majorité des cas le passage de la flamme à l'arrière de la compression occasionnée par l'écoulement des gaz brûlés qui amène le refoulement des gaz non brûlés à l'avant de la toile métallique, circonstance la plus désastreuse sous le point de vue de la sécurité des toiles. Cette compression maladroite résulte tantôt d'une obstruction involontaire des orifices par l'écoulement, tantôt d'une agitation accidentelle du gaz qui entraîne une augmentation de la vitesse de propagation, et par suite du volume des gaz brûlés dans l'unité de temps. On augmente la sécurité des toiles en les superposant ; on revient à augmenter leur épaisseur ; on se rapproche des tubes d'une longueur finie et on diminue considérablement l'effet de la vitesse du gaz. En laissant, au contraire, un certain intervalle entre les toiles, on perd tout le bénéfice de l'augmentation de leur nombre. Quand la première est traversée toutes les autres le sont aussi. Les gaz brûlés après le passage de la première toile, éprouvent un puissant effet de résistance qui augmente le refoulement à l'arrière, et par suite favorise le passage de la flamme à l'avant des secondes toiles.

Pour obtenir d'une toile métallique la plus grande sécurité possible, il faut la disposer de façon que le rapport de sa surface au volume du mélange combustible avec lequel elle est en contact soit le plus grand possible, et ménager aux gaz brûlés des orifices de sortie considérables ; enfin ces précautions prises, il ne faut pas oublier qu'un jour ou l'autre la flamme réussira à traverser cette toile métallique.

Les mélanges les plus explosifs avec lesquels nous avons employé les toiles métalliques sont ceux de gaz d'éclairage et d'air, dont la vitesse maxima est de 1^m,20 par exemple. En voyant la facilité avec laquelle ils arrivaient à traverser nos toiles métalliques, qui étaient celles que l'on emploie pour les tamis des lampes, c'est-à-dire faites avec du fil de fer ayant 144 mailles au centimètre carré, nous n'avons pas jugé prudent d'en faire l'expérience avec des mélanges plus rapides ; nous employions toujours pour ceux-là un joint hydraulique, c'est-à-dire que nous faisions dégager le mélange gazeux bulle à bulle à travers une certaine épaisseur d'eau.

Enfin nous considérons qu'il est impossible d'arrêter avec une chance de sécurité quelconque la flamme des mélanges détonants formés par l'oxygène. Nous ne ferons d'exception que pour celui qu'il forme avec l'oxyde de carbone, dont la vitesse de propagation est relativement très lente, soit 2 mètres par seconde. Les autres mélanges traversent en effet sans difficulté des tubes en cuivre de 1/4 de millimètre de diamètre et 2 mètres de long, c'est-à-dire douze fois plus étroits que ceux qui arrêtent complètement la flamme des mélanges les plus explosifs de grisou et d'air. Il faudrait donc employer avec ces mélanges des toiles dont les mailles seraient certainement beaucoup plus de douze fois plus petites que celles que l'on emploie dans les lampes de sûreté, dont la sécurité elle-même n'est pas absolue.

N DES MÉLANGES GAZEUX.

BEC BUNSEN.

ctionnement du bec Bunsen a été
nps, elle se trouve même dans des
ent élémentaire. Nous croyons ce-
produire ici avec quelques dévelop-
généralement peu connue.

e mélange de gaz d'éclairage et d'air
tube dont les deux extrémités com-
à l'air extérieur; un jet de gaz sor-
est lancé suivant l'axe du tube; il
uel il se mêle, et le mélange sort avec
par l'autre extrémité près de laquelle
esse de propagation du mélange doit
e d'écoulement du gaz. La flamme
me façon permanente sur l'orifice du

proximativement la vitesse d'entraî-
yen de la formule

$$mV = (M + m)v,$$

masse par le produit des vitesses par
it que la densité du gaz est moitié de
t compte de ce fait que le mélange le
et d'air renferme pour 1 vol. de gaz

$$V = 14v.$$

onction de la pression du gaz dans les
pour cette pression le chiffre mini-
on trouverait $V = 200$ mètres, d'où

$$v = 7^m.$$

à la vitesse normale de propagation
gaz d'éclairage, qui ne dépasse pas

Mais une fois le mélange gazeux allumé, les conditions de l'écoulement changent, la dilatation des gaz brûlés les oblige à prendre une vitesse d'écoulement supérieure qui entraîne une compression en arrière. En tenant compte de ce fait et admettant que la dilatation des gaz brûlés est de 7 fois on trouvera que la vitesse d'entraînement maximale est de 2 mètres par seconde, chiffre encore supérieur, mais de peu de chose, à la vitesse de propagation de la flamme surtout si l'on remarque que nous n'avons pas tenu compte de l'étranglement des orifices d'arrivée d'air. En fait, la vitesse d'entraînement est à peu près égale à celle de propagation de la flamme; l'équilibre est donc tout fait instable, de telle sorte que la flamme finit toujours par rentrer dans un brûleur réglé pour donner le mélange gazeux le plus combustible.

On évite cet inconvénient en augmentant l'écart entre ces deux vitesses par différents artifices. On diminue la proportion d'air entraînée en réduisant le diamètre du tube; on accélère ainsi la vitesse d'entraînement du mélange gazeux tout en diminuant sa vitesse de propagation on peut encore diminuer la vitesse de propagation en donnant à l'orifice des formes particulières, dans lesquelles le rapport du périmètre à la section soit très grand; on augmente ainsi l'influence refroidissante des parois, moins tant qu'elles ne sont pas trop échauffées par le contact de la flamme. Ce résultat est obtenu avec les becs annulaires ou en forme de fente, avec les couronnes percées de trous, etc. Ces appareils permettent de brûler le mélange le plus explosif de gaz et d'air sans être exposés à une rentrée immédiate de la flamme.

La flamme du bec Bunsen présente un cône intérieur brillant d'un éclat supérieur au reste de la flamme. C'est la tranche en combustion, dont la température, comme nous l'avons expliqué plus haut, est supérieure à celle du reste de la flamme. La forme conique résulte de l'inég

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

de des filets gazeux qui circulent dans le tube. Ceux qui touchent la paroi ont une vitesse inférieure à celle de propagation de la flamme ; celle-ci la remonte donc jusqu'au point où elle se trouve arrêtée par l'action refroidissante des parois, et elle se tient ainsi collée sur les lèvres de l'orifice. De là elle se propage vers le centre du courant avec sa vitesse normale, et est en même temps entraînée dans le sens de ce courant avec la vitesse propre à chacun des filets gazeux qu'elle atteint, vitesse qui croît de la périphérie vers le centre. Elle décrit ainsi des lignes hélicoïdales sur l'axe du tube dont l'ensemble forme une surface conique. On voit que la longueur de ce cône est d'autant plus grande que la vitesse de propagation est plus grande ; pour les mélanges non combustibles renfermant de petits excès de gaz, il disparaît complètement en se confondant avec la surface extérieure de la flamme.

VI. — Résumé.

Le résumé nos expériences sur la propagation de l'inflammation dans les mélanges gazeux combustibles, ont montré les faits suivants :

L'inflammation dans ces mélanges peut se propager suivant deux modes principaux. L'un, qui se fait par transmission de la chaleur d'une tranche à la tranche voisine, est le *mode de propagation par conductibilité*, ou *propagation normale*. L'autre, qui se fait par la transmission de la pression suffisamment élevée, est la propagation par *explosive* découverte par MM. Berthelot et Vieille. Ces deux modes de propagation correspondent à la *déflagration* et à l'*explosion* des substances explosives liquides ou solides comme la nitroglycérine ou la dynamite.

Chacun de ces deux modes de propagation est caractérisé par une vitesse constante et spécifique pour un mélange donné dans des conditions données de température. Entre ces deux modes réguliers se placent un certain

nombre d'autres modes dont la production dépend des conditions expérimentales et qui ne sont pas susceptibles de définitions précises.

La vitesse de propagation par conductibilité ne dépasse et probablement même n'atteint jamais 20 mètres par seconde. Nous l'avons déterminée pour un certain nombre de mélanges gazeux.

Pour les mélanges d'hydrogène et d'air, la vitesse de propagation maxima est de 4^m,30 environ. Elle est obtenue pour un mélange contenant 40 p. 100 d'hydrogène, c'est-à-dire plus que le mélange tonnant qui en contient 30 p. 100.

Les mélanges de formène (grisou) et d'air sont beaucoup plus lents. La vitesse maxima est seulement de 0^m,62. Elle serait obtenue pour un mélange renfermant 12,2 de formène, c'est-à-dire plus que le mélange tonnant qui en renferme 9,4 p. 100.

Pour le gaz d'éclairage (au moins celui sur lequel nous avons expérimenté), la vitesse maxima serait de 1^m,25. Elle serait obtenue pour un mélange contenant 17 p. 100 de gaz, c'est-à-dire encore un peu plus que le mélange tonnant qui contiendrait 15 p. 100 seulement de gaz.

Pour le mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène, la vitesse de propagation est de 2 mètres par seconde seulement.

Les mélanges d'hydrogène ou de formène avec l'oxygène ont des vitesses de propagation plus grandes, que nous n'avons pu mesurer avec précision. Nous sommes arrivés cependant à montrer que le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène ne doit pas avoir une vitesse de propagation supérieure à 20 mètres.

La vitesse de propagation augmente avec la température initiale. Dès que le tube dans lequel se fait la propagation est un peu large, la vitesse de propagation est indépendante du diamètre du tube. Dans les tubes étroits la vi-

tesse diminue avec le diamètre et peut même s'annuler pour un diamètre d'autant plus petit que le mélange est plus rapide.

Toute agitation dans le mélange gazeux où progresse la flamme augmente la vitesse de propagation, ainsi que l'avaient déjà reconnu MM. Schloësing et de Mondésir.

Lorsque la propagation se fait dans un mélange à propagation lente et dans un tube fermé à une extrémité, si l'inflammation est portée près de cette extrémité, la progression de la flamme dans le tube prend une vitesse beaucoup plus grande et en même temps une allure saccadée qui se traduit par des oscillations très irrégulières. L'éclat de la flamme est alors plus grand dans la période oscillatoire qui accélère la progression de la flamme que dans celle qui la retarde. Il peut même arriver, avec des tubes suffisamment étroits, que la flamme s'éteigne dans cette dernière période lorsque l'oscillation est très forte.

Avec tous les mélanges gazeux, la progression de la flamme dans un tube se fait d'abord avec la vitesse uniforme de la propagation par conductibilité. Au bout d'un certain temps, d'autant plus court en général que le mélange est plus rapide, la flamme prend un mouvement vibratoire dont les amplitudes éprouvent des variations considérables. Dans ce mouvement vibratoire l'éclat de la flamme est toujours plus grand dans la période de vibration en avant que dans la période de vibration en arrière. Il peut même arriver, lorsque l'amplitude est grande, que la flamme s'éteigne durant cette dernière période.

Lorsque, par une cause quelconque, mouvement vibratoire, dilatation des gaz brûlés, etc., la pression transmise par une tranche gazeuse à la tranche contiguë est égale à celle qui élève le gaz à la température d'inflammation, la combustion se propage avec la même vitesse que l'onde comprimée. On a alors l'onde *explosive*.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Planche VIII.

Les figures 1 et 2 représentent l'appareil qui nous a servi à déterminer les *températures d'inflammation* par la méthode du *pyromètre*. Un four Perrot renferme deux pyromètres en porcelaine servant : l'un *a* de chambre de combustion ; il est relié à un tube mesureur *c* ; le second *b* de thermomètre à air ; il est relié à un manomètre à mercure *d*.

Les figures 3 et 4 représentent l'appareil employé pour faire les mêmes expériences par la méthode du *tube* :

- a* Tube en porcelaine où s'enflamme le mélange gazeux ;
- b* Thermomètre à air ;
- c* Grille à pétrole servant au chauffage ;
- d* Réservoir de pétrole.

La figure 5 est un diagramme théorique représentant la répartition des températures de part et d'autre de la tranche en combustion A dans une masse gazeuse en train de brûler :

- θ Température initiale ;
- t Température d'inflammation ;
- T Température de combustion.

La flèche indique le sens de propagation de la flamme.

La figure 6 est la courbe figurative des vitesses de propagation de la flamme dans les mélanges d'hydrogène et d'air. Les ordonnées représentent les vitesses exprimées en mètres par seconde et les abscisses la quantité du gaz combustible renfermée dans 100 volumes de mélange total.

La figure 7 donne la courbe analogue pour les mélanges de formène (grisou) et d'air.

Planche IX.

Cette planche représente le chronographe enregistreur qui nous a servi dans nos expériences sur les *vitesses de propagation* et sur les *températures de combustion*.

On voit à côté du cylindre le moteur électrique à vitesse constante qui lui imprime un mouvement de rotation uniforme.

On a placé sur le chariot qui se déplace devant le cylindre les électro-

esses de propagation dans lesquels nous utilisons pour produire les signaux *conductibilité électrique* du gaz chaud.

Enfin on a représenté sur le cylindre quelques-unes des courbes que nous avons obtenues dans nos expériences sur les vitesses de propagation par la *méthode pneumatique*. La courbe de droite est celle d'un diapason enregistré sur battant le 1/100 de seconde.

Planches X et XI.


Ces planches donnent des reproductions des courbes que nous avons obtenues par la *méthode photographique* pour la mesure des vitesses de propagation.

Ces expériences se rapportent toutes à des mélanges de sulfure de carbone, soit avec le bioxyde d'azote, soit avec l'oxygène.

Les tubes en verre dans lesquels se fait la propagation de la flamme sont placés verticalement et la flamme avance sur les figures du bas vers le haut.

Le sens d'entraînement de la feuille est de la gauche vers la droite, sauf dans les expériences planche X et figure 7, planche XI, où il est inverse.

Sur toutes ces courbes le point *a* est à l'origine de la combustion et par suite aussi de la période de propagation uniforme; le point *b* à la fin de propagation uniforme et au commencement du mouvement vibratoire; le point *c* aux plus grandes vibrations.

INDICATION des courbes.	NATURE des mélanges.	DIAMÈTRE des tubes.	LONGUEUR représentant		REMARQUES.
			1 mètre.		
Planche X.					
Fig. 1. . . .	$\text{CS}^2 + 3\text{AzO}^2$	mèt. 0,03	mèt. 0,20	mèt. 0,48	Le mouvement vibratoire continue jusqu'à la fin de la combustion. Onde explosive <i>a</i> . Vibrations énormes; le bouchon qui ferme le tube est projeté.
— 2. . . .	Id.	Id.	Id.	Id.	
— 3. . . .	Id.	Id.	Id.	Id.	
Planche XI.					
Fig. 1. . . .	$\text{CS}^2 + 3\text{AzO}^2$	0,02	0,28	0,12	
— 2. . . .	Id.	Id.	Id.	Id.	
— 3. . . .	Id.	Id.	Id.	Id.	
— 4. . . .	Id.	0,01	Id.	0,15	
— 5. . . .	$\text{CS}^2 + 6\text{O}$	0,03	0,03	1,00	Onde explosive.
— 6. . . .	Id.	0,01	Id.	Id.	Id.
— 7. . . .	$\text{CS}^2 + 3\text{AzO}^2$	0,03	0,04	Id.	Mélange enflammé par l'extrémité fermée du tube.

RECHERCHES
EXPERIMENTALES ET THÉORIQUES
SUR LA
COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX EXPLOSIFS

Par MM. MALLARD et LE CHATELIER,
Ingénieurs au corps des mines.

TROISIÈME MÉMOIRE.
SUR LES TEMPÉRATURES DE COMBUSTION
ET LES
CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

INTRODUCTION.

Toute combustion s'accompagne d'un certain dégagement de chaleur qui élève la température des corps brûlés. La température à laquelle seraient ainsi portés ces corps, si on les supposait, pendant la combustion, complètement isolés dans l'espace, de manière à ne pouvoir recevoir de l'extérieur, ni lui communiquer aucune quantité de chaleur, est appelée la *température de combustion*.

Il serait très intéressant de connaître, pour les mélanges gazeux explosifs, cette donnée physique. Non seulement, comme nous le verrons plus tard, on peut en tirer grand parti au point de vue théorique, mais il est évident qu'elle

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

rvient dans toutes les opérations industrielles, si multiples, où l'on utilise les flammes pour porter un corps à une température donnée. La température de combustion de la même employée est en effet la température maxima à laquelle le corps ainsi chauffé peut être porté.

On a cru pendant longtemps pouvoir calculer la température de combustion en ayant pour seules données les *chaleurs de combustion*, et les *chaleurs spécifiques* des gaz mesurées dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Soit Q la chaleur de combustion, C la chaleur spécifique moyenne, entre 0° et la température de combustion T , du brûlé; ramenons l'unité de poids de ce gaz à 0° sans lui permettre de se condenser, il abandonnera une quantité de chaleur CT , et nous aurons, par définition

$$Q = CT. \quad (1)$$

Il semble donc qu'il suffise, pour calculer T , de connaître Q et C .

Les travaux anciens de Dulong, de Favre et Silbermann, surtout les travaux récents de MM. Thomsen et Berthelot^(*), ont fait connaître Q pour un nombre considérable de combustions, ou, plus généralement, de réactions chimiques. D'un autre côté, les chaleurs spécifiques des principaux gaz ont été mesurées par Regnault, aux températures ordinaires, avec une grande précision.

Malheureusement, deux causes empêchent de tirer un parti direct, pour calculer T , de la formule précédente.

La première, c'est que cette formule repose sur la supposition que, si nous avons mis en présence les poids de gaz qui, par la combustion, peuvent donner naissance à 1 gramme

^(*) L'Annuaire du Bureau des longitudes publie, chaque année, un tableau très étendu des valeurs de Q , qui a été rédigé par Berthelot, en grande partie d'après ses propres travaux.

du gaz composé considéré, il s'est réellement formé 1 gramme de vapeur de ce gaz. C'est en effet à cette condition seulement qu'il nous est permis de dire que la quantité de chaleur dégagée par la combustion est égale à Q . S'il se formait seulement un poids p du gaz composé, le reste des gaz mis en présence demeurant non combiné, il est évident que la quantité de chaleur dégagée serait seulement pQ et qu'il faudrait, pour aller plus loin, connaître p .

Or on sait, depuis les mémorables travaux d'Henri Sainte-Claire Deville, que cette dernière supposition est précisément réalisée dans un très grand nombre de cas, la plupart des gaz composés, portés à une température suffisamment élevée, se *dissociant* partiellement en leurs éléments. Si par exemple on met en présence $1/3$ de volume de O et $2/3$ de volume de CO , et, si on provoque la combinaison, il ne se formera pas 1 gramme de CO^2 , parce que la combustion porte l'acide carbonique à une température assez grande pour que ce gaz se dissocie partiellement en CO et O .

Une autre cause vient encore compliquer la question. La chaleur spécifique C qui intervient dans la formule (1) est la chaleur spécifique moyenne entre 0° et T . Or, l'expérience ne nous donne que les chaleurs spécifiques moyennes entre 0° et une température qui ne dépasse pas 200° . Pouvons-nous admettre que les chaleurs spécifiques restent les mêmes aux températures voisines de la température ordinaire et aux températures élevées que développe la combustion?

On pourrait, à la rigueur, admettre, d'après les expériences de Regnault, que les chaleurs spécifiques des gaz parfaits, qui suivent sensiblement les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, sont constantes avec la température. Mais Regnault avait constaté que la chaleur spécifique de l'acide carbonique s'accroît notablement de 0° à 200° , et on igno

rait si cet accroissement se continue à mesure que la température augmente. Il est vrai que l'on admettait assez généralement qu'il n'en était pas ainsi. On supposait que l'invariabilité de la chaleur spécifique était un caractère essentiel à l'état gazeux parfait. Or comme l'acide carbonique s'approche de plus en plus de cet état gazeux parfait en satisfaisant de mieux en mieux à la loi de Mariotte à mesure que la température est plus élevée, et qu'il s'éloigne davantage de son point de liquéfaction, on supposait que la chaleur spécifique de ce gaz devait s'approcher de plus en plus de l'invariabilité.

Les expériences qui font l'objet de ce mémoire ont précisément démontré que cette hypothèse est erronée, que la chaleur spécifique de l'acide carbonique s'accroît sans cesse avec la température jusqu'à prendre, à 2000° , plus du double de sa valeur à 0° , et que les gaz parfaits eux-mêmes obéissent, quoiqu'à un degré beaucoup moindre, à cette loi générale d'accroissement.

Il faut donc abandonner l'espoir de déduire les températures de combustion de la seule connaissance des chaleurs de combustion et de celle des chaleurs spécifiques mesurées à 0° . Il ne reste plus, pour connaître ces températures, qu'à recourir à l'observation directe.

Malheureusement cette observation présente de nombreuses difficultés pratiques qui ont, pendant longtemps, presque absolument découragé les observateurs. Aussi n'avait-on, sur l'ordre de grandeur des températures de combustion, que des idées extrêmement vagues; la température de combustion du mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, par exemple, étant évaluée tantôt à 7.000° , tantôt à 3.000° .

L'illustre chimiste d'Heidelberg, M. BUNSEN, a proposé et appliqué, en 1867, pour mesurer les températures de combustion, un procédé fort ingénieux. Il consiste à enfermer le mélange gazeux combustible en vase clos, à le faire

détoner, puis à mesurer la pression très élevée et instantanée que développe la combustion. Cette pression est liée à la température de combustion par un certain nombre d'équations faciles à établir.

Soit

h la pression initiale du mélange gazeux;

τ_0 la température *absolue* initiale;

Π la pression immédiatement après la combustion, et avant que le refroidissement de l'enceinte ait pu se faire sentir;

τ la température *absolue* de combustion;

1 le volume du gaz tonnant, à h et τ_0 ;

v le volume du gaz étranger mêlé au gaz tonnant, aussi à h et τ_0 ;

u le volume qu'occupe, après la combustion, le gaz brûlé formé par 1 de gaz tonnant, si on le ramène à h et τ_0 ; lorsque le mélange tonnant est par exemple celui de H et O, ou celui de CO et O, on a $u = \frac{2}{3}$;

k la proportion du volume du mélange tonnant qui s'est combinée, de sorte que le volume du gaz engendré par la combustion est ku ;

c la chaleur spécifique moyenne du mélange tonnant, à volume constant, entre τ_0 et τ , et rapportée à l'unité de volume;

c' la même donnée pour le gaz étranger ajouté;

c_1 la même donnée pour le gaz brûlé;

Q la chaleur de combustion rapportée à l'unité de volume du gaz brûlé.

L'équation (1) des quantités de chaleur deviendra évidemment

$$kuQ = [(1 - k)c + vc' + kuc_1](\tau - \tau_0). \quad (2)$$

Le gaz avant la combustion occupait, avec une pression h et une température τ_0 , le volume de l'enceinte qui, d'après nos définitions, est représenté par $1 + v$. Immédiatement après la combustion, la masse gazeuse occupe le même volume $1 + v$ avec une pression Π et une température τ . Cette même masse, ramenée à τ_0 et à la pression h occuperait, toujours d'après nos définitions, le volume $1 - k + ku + v$. On

aura donc

$$\frac{h(1 - k + ku + v)}{\tau_0} = \frac{\Pi(1 + v)}{\tau}. \quad (3)$$

Lorsque $u = 1$, c'est-à-dire lorsque la combustion n'est pas suivie d'une contraction ou d'une expansion des gaz, l'expression (1) se réduit à

$$\frac{h}{\tau_0} = \frac{\Pi}{\tau} \quad (4)$$

et donne immédiatement τ en fonction de Π . C'est ce qui arrive, par exemple, pour les mélanges de Cl et H.

Dans le cas général, si l'on admet, avec M. Bunsen, que c, c', c_0 sont des constantes données par l'observation faite à la température ordinaire, les deux équations réunies (2) et (3) ne contiennent que deux inconnues qui sont la température absolue de combustion τ et la proportion k de gaz tonnant qui s'est combinée. L'observation de la pression Π permet donc de calculer k et τ .

M. Bunsen employait, pour ses expériences, un eudiomètre en verre, fermé en bas, ouvert en haut, de 0^m0117 de diamètre et de 0^m0815 de hauteur. L'eudiomètre, rempli de mélange détonant, avait son ouverture supérieure obturée par une sorte de soupape de sûreté sur laquelle on exerçait une pression connue au moyen d'un levier chargé de poids. L'inflammation était provoquée par une étincelle électrique. Si la pression développée par la combustion était supérieure à celle qui s'exerçait sur la soupape, celle-ci se soulevait et l'on en était averti par le bruit de l'échappement. On pouvait ainsi, par des tâtonnements successifs, comprendre la pression cherchée Π entre deux pressions, aussi rapprochées qu'on le voulait, l'une trop faible, l'autre trop élevée.

Voici le tableau des résultats obtenus :

NUMÉROS des expériences.	GAZ mélangé à 1 volume de gaz tonnant.	$\frac{H}{h}$	TEMPÉRATURE de combustion, les chaleurs spécifiques étant supposées constantes.	QUANTITÉ DE GAZ entrée en combinaison k
<i>Mélanges d'hydrogène.</i>				
12	0	9,97	2870°	0,348
1	0	9,75	2853	0,324
14	1,26 Az	7,49	2163	0,595
<i>Mélanges d'oxyde de carbone.</i>				
2	0	10,78	3192°	0,361
1	0	10,19	2875	0,324
3	0,108 O	9,05	2573	0,319
8	0,686 CO	8,89	2478	0,466
4	0,855 O	8,44	2332	0,487
5	1,086 O	7,86	2128	0,499
11	1,256 Az	7,73	2096	0,523
10	1,256 Az	7,35	1875	0,468
6	1,71 O	6,67	1739	0,540
7	2,16 O	5,83	1426	0,498
9	3,16 CO	4,79	1182	0,515

On remarquera que les nombres qui expriment la proportion de gaz entrée en combinaison restent presque rigoureusement constants et égaux à 0,5 jusques et y compris l'expérience 8 qui correspond, d'après M. Bunsen, à la température 2.478°. Pour les températures supérieures, la proportion combinée reste encore constante, mais elle est égale à 0,3 ou sensiblement $\frac{1}{3}$. M. Bunsen concluait de là qu'aux températures inférieures la moitié seulement des gaz en présence entre en combinaison, tandis qu'au-dessus d'une certaine température déterminée, ce n'est plus que le tiers de ces gaz qui participe à la réaction. Il y aurait ainsi un rapport toujours simple entre les volumes de gaz qui se combinent, mais ce rapport irait en diminuant, par sauts brusques, à mesure que la température s'élève.

M. VICAIRE (*), dans une savante dissertation sur les lois de la dissociation à propos des expériences de M. Bunsen, voit que la singulière conclusion de l'illustre savant ne pouvait être admise et n'était point, en tout cas, suffisamment appuyée sur les résultats de ses expériences.

M. BERTHELOT (**) critiqua à un autre point de vue les conclusions de M. Bunsen, en faisant remarquer que rien ne prouvait la constance, avec la température, des chaleurs spécifiques des gaz; tout au moins de ceux, comme l'acide carbonique, pour lesquels les expériences de Regnault montraient, entre 0° et 200°, un accroissement notable. Si cette constance n'avait pas lieu, il y avait en réalité, dans les deux équations (2) et (3), non pas deux inconnues k et τ , mais cinq, k , τ , c , c' , c , que l'observation de la pression P était tout à fait insuffisante à déterminer.

M. HENRI SAINTE-CLAIRE DEVILLE, auquel la science est redevable de découvertes si capitales au sujet de la combustion des gaz et qui, le premier, a posé le principe de la dissociation, avait, avant Bunsen, essayé de mesurer la température de combustion de quelques mélanges gazeux, entre autres du mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène (***). Il plongait dans la flamme produite par ce mélange, au milieu de vases de chaux peu conducteurs, des masses de platine ou d'iridium fondus, versait ensuite ces masses dans l'eau et observait l'élévation de température de l'eau. Malheureusement les données sur lesquelles on est obligé de s'appuyer, telles que la chaleur latente de fusion de platine, et la chaleur spécifique de ce métal au-dessus de 2.000°, sont très incertaines. L'illustre savant avait été conduit ainsi au chiffre 2.500° pour la température de combustion à pression constante du mélange tonnant $H^2 + O$.

*) *Ann. chim. et phys.* (4), 19. 1870.

**) *Ann. sc. de l'Ec. norm. sup.*

***) *Leçons sur les dissociations.* 1864.

M. CROVA (*), par des recherches optiques sur l'intensité des radiations lumineuses des flammes, est arrivé à comparer entre elles ces intensités et à déterminer ainsi, pour les différentes flammes, des températures qu'il appelle *optiques* et qui n'ont d'ailleurs aucun rapport bien défini avec les températures mesurées sur le thermomètre à air.

Il a cru cependant pouvoir fixer à 1.900° la flamme d'une lampe modérateur alimentée par l'huile de colza.

De son côté M. ROSSETTI (**), aussi par des mesures optiques, crut pouvoir fixer à 1.300° la température de la couche extérieure bleue d'une flamme en papillon, et à 1.150° celle de la couche intérieure blanche.

Ces mesures, quand même on admettrait qu'elles sont susceptibles d'une grande précision, ne donnent point la température de combustion d'un mélange gazeux donné, mais seulement la température de la partie la plus chaude de la flamme qui, d'après ce que nous avons dit dans une autre partie de ce travail, doit être à une température plus élevée que celle de combustion, puisque la température de la zone en combustion est à peu près égale à la somme de la température d'inflammation et de celle de combustion.

Nos propres expériences sur les températures de combustion ont été faites dans le courant des années 1880 et 1881. Un compte rendu sommaire, contenant l'énoncé de nos principaux résultats en fut donné, à la fin de cette dernière année, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (***), et ensuite, presque sans modifications, dans divers autres Recueils (****).

Depuis cette époque, M. VIEILLE (*****) a fait connaître les

(*) *Ann. de ch. et de phys.* (5), 19, p. 472. 1880.

(**) *Ann. chim. et phys.* (5), 18, p. 457. 1879.

(***) *Comptes rendus*, 5, 12, 19 décembre 1881.

(****) *Séances de la Société de physique*, 2 décembre 1881; *Journal de phys.*, 1882; *Bull. Soc. chim.*, 1883.

(*****) *Comptes rendus*, XCVI, 23 avril, 16 mai 1883.

principaux résultats de recherches faites sur le même sujet par un procédé d'expérimentation notablement différent du nôtre. M. Vieille fait détoner le gaz dans une bombe sphérique et mesure la pression *maxima* que développe la combustion en enregistrant la loi du déplacement d'un piston de section et de masses connues. Les résultats de M. Vieille sont en général d'accord avec les nôtres.

Enfin, pendant l'impression même de ce mémoire, M. Berthelot et Vieille publient, dans les *Comptes rendus*, les résultats d'une longue série d'expériences faites par le procédé qu'avait d'abord employé M. Vieille seul. Ces résultats, ainsi que les conséquences auxquels ils conduisent, sont à peu près constamment d'accord avec les nôtres, en tenant compte du degré d'approximation qu'il est permis d'espérer dans des recherches de ce genre.

En publiant aujourd'hui nos expériences avec détail, nous avons refait complètement tous les relevés de nos graphiques et tous les laborieux calculs qui permettent d'en tirer parti. Nous avons été ainsi conduits à adopter, pour ces calculs, de nouveaux procédés, et nos premiers résultats en ont été quelque peu modifiés. Nous avons cru avoir le droit d'améliorer de la sorte notre propre travail. Au reste les changements que nous avons apportés à nos premiers nombres ne dépassent pas les limites d'erreur que nous avons nous-mêmes indiquées et laissent subsister toutes les conclusions que nous avons formulées.

CHAPITRE I.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES AVEC LE MANOMÈTRE DEPREZ.

Lorsque la Commission du grisou nous confia le soin de faire des expériences sur les propriétés explosives du grisou, nous songeâmes à mesurer la pression exercée par la combustion de ce gaz en vase clos, et à déduire de cette pression la température de combustion. Nous nous proposâmes en même temps d'étendre ces recherches à d'autres gaz combustibles.

Il s'agissait de reprendre les expériences de M. Bunsen en évitant autant que possible les causes d'erreur qui avaient pu les affecter. La principale de ces causes d'erreur nous parut être le défaut d'instantanéité dans l'appareil qui mesurait la pression. Pour que l'on pût juger en effet que la pression développée par la combustion était supérieure à celle qu'exerçait le poids agissant sur le levier, il fallait que la soupape pût se soulever et le poids se déplacer d'une certaine quantité. Ce mouvement, bien que d'une faible amplitude, exigeait cependant un certain temps pour se produire. Avant que la soupape ne fût soulevée, le gaz avait donc le temps de se refroidir, ce qui diminuait d'autant la pression intérieure.

Description de l'appareil. — Pour éviter cet inconvénient, nous eûmes recours à un ingénieux appareil dû à M. Deprez.

La combustion était provoquée par une étincelle électrique excitée en *i* (*fig. 1*, pl. XII), au centre d'une éprouvette cylindrique E, qui avait des dimensions plus grandes que celles de M. Bunsen, soit 0^m,10 de hauteur et 0,05 de diamètre intérieur.

Le haut de l'éprouvette était fermé par une plaque en fer percée de deux orifices correspondant aux deux tubulures à robinets a et a' par lesquelles se faisait l'introduction et la sortie du gaz. La manœuvre s'effectuait aisément au moyen d'un tube en caoutchouc communiquant avec la partie inférieure de l'éprouvette, et liée à un flacon F rempli de mercure. En abaissant ou en élevant ce flacon, on remplissait l'éprouvette de mercure ou l'on y faisait le vide.

La base inférieure de l'éprouvette était percée d'un orifice communiquant à l'indicateur de pression représenté en coupe dans la partie gauche de la planche (*fig. 1'*). Il était formé par un tube fixe CC, dans lequel jouait un piston p fermant exactement. Le piston était fixé à une tige T, aboutissant à un crochet H, et limitée dans sa course ascendante par un rebord qui venait s'appuyer sur la base d'un tube DD simplement enfilé sur le tube CC. La tige portant le piston était d'ailleurs maintenue en place par un ressort à boudin r s'appuyant d'une part sur le piston p , d'autre part sur un écrou e , vissé dans le cylindre mobile DD.

En faisant tourner la manivelle M, on donnait, par l'intermédiaire de la roue dentée R, un mouvement de rotation au cylindre CC, et l'écrou intérieur e montait ou s'abaissait en comprimant ou détendant le ressort à boudin r . Un indicateur extérieur j donnait à chaque instant la position intérieure de l'écrou e ; il faisait ainsi connaître, au moyen d'une graduation préalable, l'état de tension du ressort, et par suite la grandeur de la pression qui devait être exercée sur la base supérieure de surface connue du piston p pour lui permettre de s'abaisser.

Sur la tige T du piston était enfilée une petite languette L en métal très mince que la tension du ressort maintenait pressée entre le rebord B de la tige et la base du cylindre DD. Cette languette portait une ouverture rectangulaire qui lui permettait de glisser horizontalement lorsque la

pression du ressort cessait de s'exercer. Pour la solliciter à ce glissement, un poids P agissait sur elle par l'intermédiaire d'un cordon horizontal porté sur une petite poulie.

Le gaz explosif remplissant le cylindre, on poussait la languette de manière qu'elle fût le plus enfoncée possible, et on exerçait, en tournant le ressort et la languette, une pression h mesurée par l'index j . On provoquait l'étincelle, et si la pression développée par la combustion sur le piston p était égale ou supérieure à celle qu'exerçait le ressort, la pression devenait nulle sur la languette, qui céda à l'action du poids P . Dans le cas contraire, la languette restait en place. On pouvait ainsi, par des tâtonnements successifs, comme dans les expériences de M. Bunsen, comprendre la pression développée par la combustion entre deux pressions très rapprochées.

Le grand avantage de cette ingénieuse disposition, due à M. Deprez, c'était que l'on pouvait constater la production d'une pression maxima, si fugitive qu'elle fût. La languette ayant en effet une très petite masse, prenait sous l'action du poids P relativement grand, un déplacement grand dans un temps très court. Nous nous sommes assurés que la languette se déplaçait de 1 centimètre en moins de $1/200$ de seconde.

Le ressort était taré directement au moyen de poids suspendus au crochet H . Cette graduation ne présentait pas de difficultés, mais elle devait être répétée assez souvent, car la force du ressort variait notablement avec le temps.

Incertitude des résultats donnés par l'observation. — Nous avons fait, avec cet appareil, un très grand nombre d'expériences, avant d'être amené à reconnaître que, malgré tous nos efforts, il ne donnait que des résultats incertains, souvent même illusoires.

La principale cause d'erreur se trouvait dans un phénomène très inattendu et qui ne nous fut expliqué que lorsque nous eûmes terminé nos expériences sur le mode de propagation de l'inflammation. Voici en quoi ce phénomène consistait.

Avec certains mélanges gazeux, la languette commençait à prendre un léger mouvement lorsque la pression exercée sur le ressort était évidemment encore bien supérieure à celle que pouvait produire la combustion. Le déclenchement n'était pas complet et la languette n'accomplissait pas toute sa course; elle se déplaçait néanmoins, et ce déplacement indiquait avec certitude qu'à un moment donné il s'était développé sur la base supérieure du cylindre, une pression au moins égale à celle du ressort. Cette pression ne s'était, il est vrai, exercée que pendant un temps extrêmement court, car le déplacement était quelquefois de 2 ou 3 millimètres seulement, et, comme nous l'avons dit, la languette parcourait au moins un centimètre dans $1/200$ de seconde.

Ces déplacements partiels se manifestaient souvent pour des pressions du ressort très supérieures à celles pour lesquelles se produisait le déplacement complet. On en jugera par le compte rendu des quelques expériences suivantes faites avec des mélanges, en proportion variable, d'hydrogène et d'oxygène.

Tensions
du ressort en tours
du cylindre DD.

$$1^{\circ} 0,40 + 0,6 H$$

23	Déplacement de la languette certain, mais inférieur à 1 ^{me} ,
20	Déplacement de 2 ^{me} ,
21	— 1 ^{me}
22	— 1 ^{me}
19	— 3 ^{me}
17	Déclenchement complet.

2° 0,15 O + 0,85 H

11	Déclenchement complet,
13	Id.
15	Déplacement de 1 ^{me} ,
16	— 2 à 3 ^{me} ,
17	— 1 ^{me}
18	— 2 ^{me}
19	— moins de 1 ^{me} .

3° 0,25 O + 0,75 H

22	Pas de déplacement,
20	Id.
18	Id.
16	Déplacement de 1 à 2 ^{me} ,
15	Déclenchement complet.
15,5	Id.
16	Déplacement de 2 à 3 ^{me} ,
17	Déclenchement complet,
17	Déplacement de 1 ^{me} .

Comme on le voit d'après ces quelques exemples, que nous pourrions multiplier considérablement, le phénomène est des plus variables et la grandeur du déplacement n'est pas, avec un même gaz, en rapport avec la tension du ressort; il peut même y avoir, sous la même tension, tantôt déclenchement complet, tantôt déplacement seulement partiel de la languette.

Cause des anomalies constatées par l'observation.

— La cause de ce phénomène singulier nous a beaucoup intrigués.

Nous avons d'abord reconnu qu'il ne se produisait que pour les mélanges à propagation rapide, tels que les mélanges d'hydrogène et d'oxygène (particulièrement ceux qui contiennent un excès d'hydrogène), les mélanges d'hydrogène et d'air avec un excès d'hydrogène, les mélanges d'oxyde de carbone et d'oxygène voisins du mélange tonnant ou contenant un excès d'oxyde de carbone, les mélanges de

grisou et d'oxygène. Les mélanges à propagation lente, tels que ceux de grisou et d'air, d'oxyde de carbone et d'air, ne le présentaient pas ou ne le présentaient qu'à peine.

Il est maintenant clair pour nous, que les déplacements partiels de la languette étaient dus à la trop grande sensibilité de notre appareil qui lui permettait d'indiquer la production des pressions les plus fugitives.

Lorsque l'onde enflammée se propage, elle exerce, comme nous l'avons exposé dans notre second mémoire, sur la tranche immédiatement en contact une pression considérable, d'abord restreinte exclusivement à cette tranche, et qui, au bout d'un temps très court, mais non pas nul, se transmet par la détente à toute la masse, en s'affaiblissant naturellement par le partage.

Cette pression très fugitive est d'autant plus grande que la vitesse de propagation est plus considérable. Elle peut devenir énorme, comme nous l'avons remarqué, avec l'onde explosive. C'est à ces pressions, si instantanées qu'elles soient, que sont dus les surprenants effets des substances explosives telles que la nitroglycérine.

Ce sont précisément ces pressions passagères, sans relation directe avec le phénomène que nous voulions mesurer, qu'enregistrait notre appareil. Il se trouvait ainsi défectueux par l'exagération même des qualités qui nous l'avaient fait adopter.

Il semble que l'on aurait pu remédier à cette cause d'erreur en tenant pour non venus les déplacements incomplets de la languette. Mais que faire lorsque le déclenchement était presque complet? D'ailleurs on voit, par le dernier des exemples cités plus haut, que sous la même pression et avec le même mélange, le déplacement peut être tantôt complet, tantôt incomplet.

Il fallait donc renoncer à tirer parti des expériences faites avec les mélanges à propagation rapide. Mais pouvait-on au moins utiliser celles qui avaient été faites avec des

mélanges à propagation lente? Nous ne l'avons pas pensé, car on n'est plus certain, dans ce cas, que l'influence du refroidissement de la paroi ne vient pas diminuer la pression que l'on mesure.

Il faut en effet remarquer qu'il ne suffit pas d'avoir un enregistreur de pressions donnant avec certitude la pression maxima, si peu de temps qu'elle dure, développée effectivement dans le cylindre. Sous ce rapport l'appareil de M. Deprez est parfait, et il a fait ses preuves entre nos mains mêmes, puisqu'il a pu indiquer l'existence de pressions extraordinairement fugitives.

Mais si le vase dans lequel le gaz est enfermé n'est pas rigoureusement sphérique, si l'inflammation n'est pas rigoureusement provoquée au centre, si la propagation ne se fait pas rigoureusement suivant des surfaces sphériques concentriques, certaines parties du mélange gazeux enflammé arrivent à toucher les parois et à se refroidir avant que la propagation ne soit terminée; la pression maxima qui s'exerce dans l'enceinte n'est plus alors celle qui s'exercerait si la masse gazeuse, était portée tout entière et au même instant, à la température de combustion. Cette dernière pression qui est justement celle que l'on cherche, ne se produit donc pas réellement dans le vase et ne peut pas par conséquent être mesurée, lorsque toutes les conditions précitées ne sont pas remplies.

En comparant, avec les pressions obtenues par une autre méthode plus exacte, celles que nous avons obtenues avec la méthode qui vient d'être exposée, nous avons en effet reconnu que ces dernières, presque identiques au reste avec celles qu'avait trouvées M. Bunsen, étaient toutes trop faibles pour les mélanges à propagation lente.

Nous jugeons donc inutile de donner les résultats obtenus dans cette première période de nos recherches. Nous avons cru cependant qu'il était bon de signaler au moins notre insuccès, parce que les causes qui l'ont motivé sont une

conséquence des principes exposés dans une autre partie de notre travail. Si nous les avions connus alors, nous n'aurions pas le regret d'avoir consacré de longues heures à des recherches vaines.

Ayant renoncé à tirer parti des expériences faites avec notre premier appareil, nous nous occupâmes d'en faire construire un autre mieux disposé pour arriver au résultat désiré et éviter les causes d'erreur que nous avions reconnues.

CHAPITRE II.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES AVEC LE MANOMÈTRE ENREGISTREUR BOURDON.

PREMIÈRE PARTIE.

PROCÉDÉS D'OBSERVATION.

Description de l'appareil employé. — Avertis de la production, pendant la propagation, de pressions considérables et fugitives, sans rapport direct avec celle que nous voulions mesurer, nous résolûmes, en premier lieu, d'abandonner l'indicateur de pression qui nous avait servis jusque-là, et dont l'exquise sensibilité devenait un défaut grave. Nous pensâmes ensuite que le meilleur moyen de mesurer la pression due à la combustion, et de la dégager des pressions anormales qui nous avaient si fort gênés, c'était d'observer, non pas seulement la pression maxima développée dans l'eudiomètre, mais encore la marche de la pression depuis le moment où l'inflammation est provoquée

jusqu'à celui où commence la période de refroidissement.

Les variations de la pression étant connues d'une manière continue, il devait être possible de déterminer le maximum qui nous intéressait.

Il fallait d'abord que la pression ne variât pas trop brusquement, au moins sous l'influence du refroidissement; dans ce but nous augmentâmes considérablement les dimensions de l'eudiomètre, qui dut être alors métallique. Nous songeâmes naturellement à donner à notre eudiomètre la forme sphérique qui était évidemment la plus rationnelle. Nous nous laissâmes malheureusement arrêter par des difficultés de construction, qui auraient occasionné un assez long retard. Nous ne pensions pas, à vrai dire que le choix de la forme sphérique, pût avoir une très grande importance. Nous ne croyions pas alors que la propagation pût se faire, dans une large enceinte, suivant des surfaces sphériques concentriques et régulières, tant était irrégulière et capricieuse la propagation que nous avons observée dans un tube.

L'expérience nous a démontré plus tard qu'il n'y a aucun rapport entre ces deux modes de propagation; que dans les tubes la régularité de la propagation est troublée par des vibrations qui ne prennent pas naissance dans un large vase. Nous avons alors amèrement regretté de n'avoir pas persisté dans notre première idée; nous aurions ainsi accru notablement la précision de nos expériences et considérablement simplifié la correction destinée à tenir compte de l'influence du refroidissement.

Dans une sphère en effet, la propagation se faisant très régulièrement, comme nous l'avons reconnu, la flamme arrive presque en même temps, si l'inflammation est bien centrale, toucher les parois du vase. Au moment où commence la période de refroidissement, toute la masse gazeuse est donc enflammée, et à cet instant il se développe dans l'enceinte une pression sensiblement égale à celle que l'on

veut mesurer. Il n'en est pas de même avec toute autre forme, et la correction qu'il faut faire subir aux observations devient plus grande et plus incertaine.

Quoi qu'il en soit, renonçant à la forme sphérique, faute d'en connaître tous les avantages, nous nous contentâmes de nous en rapprocher en donnant à notre cylindre une base circulaire dont le diamètre était égal à la hauteur. Ces deux dimensions étaient égales à $0^m,17$, de sorte que la capacité de notre enceinte était égale à $3^{lit},86$.

Ce cylindre en fer, à fonds plats convenablement boulonnés portait à sa partie supérieure quatre ouvertures. L'ouverture centrale laissait passage à un tube t (*fig. 1*, pl. XVIII), mastiqué avec de la cire Golaz, pour pouvoir être facilement retiré et remplacé. Il contenait deux fils isolés, dont les extrémités inférieures étaient disposées en regard au centre du cylindre et donnaient passage à l'étincelle excitée du dehors au moment voulu.

Sur l'une des ouvertures latérales était fixé à demeure un tube t_1 , pourvu d'un robinet et communiquant par un tube en plomb avec une trompe à eau ou une machine pneumatique. Sur une autre ouverture était fixé un autre tube t_2 , également pourvu d'un robinet et communiquant par un tube métallique capillaire à un manomètre à mercure. Le manomètre que nous employions consistait en un simple tube en verre muni d'une division en millimètres, et plongeant dans une large cuvette remplie de mercure; on n'avait ainsi à faire qu'une lecture, tandis que le manomètre représenté à tort sur la figure en exigerait deux.

Enfin sur la dernière ouverture supérieure était fixé un tube t_3 , muni d'un robinet par lequel les gaz étaient introduits.

Le cylindre C tout entier était plongé dans une cuve remplie d'eau de manière à maintenir sa température plus constante et à la mesurer aisément. On pouvait aussi par ce procédé empêcher la rentrée du gaz dans l'intérieur du

cylindre, dans le cas où la pression intérieure était plus basse que la pression atmosphérique.

La base inférieure du cylindre ne portait qu'une large ouverture sur laquelle était fixé à demeure un tube T pourvu d'un robinet à grand orifice R. Ce tube venait s'adapter au moyen d'une soudure sur un manomètre construit et imaginé par M. Bourdon.

Il consiste en un tube en laiton L à section elliptique tordu en hélice et rempli d'eau, ou mieux de glycérine. Ce tube, ouvert du côté qui communique à T, est fermé à l'autre extrémité qui porte un petit arbre α mobile sur un support f . Sur ce petit arbre est fixée une longue aiguille λ . Lorsqu'une pression s'exerce sur le liquide qui remplit L, le tube elliptique tend à se détordre, l'arbre α tourne et entraîne avec lui l'aiguille λ . Le mouvement angulaire de cette aiguille, ou ce qui revient au même, le déplacement circulaire de son extrémité, est sensiblement proportionnel à la pression exercée.

L'aiguille λ doit être rigide et légère; nous l'avons formée d'un de ces piquants de porc-épic dont on se sert pour les porte-plumes. Elle portait à l'extrémité un style formé d'une lame triangulaire de baleine, amincie et légèrement recourbée à la pointe. Ce style venait faire un tracé sur un papier noirci, recouvrant le cylindre E décrit dans notre second mémoire. Ce cylindre était mis en mouvement par un petit moteur électrique Deprez, imprimant un mouvement de rotation bien uniforme.

Pour que la pression exercée dans le cylindre se transmette le plus rapidement possible au manomètre, le tube T était rempli d'eau, et le fond du cylindre lui-même était baigné par une couche d'eau extrêmement mince.

Cet appareil très simple et très robuste nous a donné de fort bons résultats.

Graduation du manomètre. — Pour graduer le ma-

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

tre, on le mettait en communication avec un tube de en acier rempli de mercure, et dont l'extrémité libre ait être suspendue à des hauteurs variables depuis tre jusqu'à 8^m,60. Cette dernière hauteur représentait pression qui n'a pas été dépassée dans nos expériences. yle du manomètre marquait, sur le cylindre tournant aire recouvert de papier noirci, la position correspon- à des hauteurs mesurées de la colonne mercurielle. On rait en centimètres les écartements y compris entre la on du style qui correspondait à une hauteur nulle de onne mercurielle et celle qui correspondait à la hauteur . reliait les observations faites dans la même série ériences par une formule de la forme.

$$h = ay + by^2$$

les résultats de l'expérience déterminaient les coeffi-
a et b.

ci les diverses séries de graduations qui ont été faites;

I. 18 mars 1881

Série 1.

$$h = 0.854 y - 0.0057 y^2$$

y	h	
	Observé.	Calculé.
2 ^m ,30	1 ^m ,89	»
4 ^m ,81	3 ^m ,84	3 ^m ,82
10 ^m ,15	7 ^m ,37	»

Série 2.

$$h = 0.849 y - 0.0094 y^2$$

y	h	
	Observé.	Calculé.
3 ^m ,60	2,94	»
6 ^m ,76	5,39	5,31
8 ^m ,29	6,40	»

On prend la moyenne des séries 1 et 2, en calculant les valeurs moyennes de h données par les deux formules pour $x=1$ et $x=10$. On obtient ainsi la formule moyenne

Formule moyenne.

$$h = 0,843 y - 0,0077 y^2$$

y	h	
	Observé.	Calculé.
2°,30	1 ^m ,89	1,90
3,60	2,94	2,93
4,81	3,84	3,87
6,76	5,39	5,35
8,29	6,40	6,46
10,15	7,87	7,77

II. 15 juillet 1881.

$$h = 0,797 y - 0,0045 y^2$$

y	h	
	Observé.	Calculé.
5°,21	4 ^m ,03	»
11 ^m ,50	8,57	»

III. 9 janvier 1882.

$$h = 0,742 y - 0,0015 y^2$$

y	h	
	Observé.	Calculé.
1,85	1 ^m ,28	1,32
5,15	3,78	»
1,14	8,31	»

Il résulte de ces observations que le ressort a subi avec le temps, et sous l'influence des observations faites, des variations qui ont graduellement affaibli l'élasticité. Cette variation est démontrée par la comparaison des nombres suivants :

	$y = 1$	$y = 5$	$y = 10$
I. 18 mars 1881 (moy.). $h = 0^{\text{m}},835$		$4^{\text{m}},02$	$7^{\text{m}},66$
II. 15 juillet 1881	$0,79$	$3,87$	$7,52$
III. 9 janvier 1882. . . .	$0,74$	$3,67$	$7,27$

Pour rendre moins difficiles les nombreux calculs auxquels nous avons dû nous livrer, nous avons employé, pour la transformation des longueurs mesurées y en hauteurs de mercure h , une formule moyenne entre les trois formules qui représentent l'état du ressort les 18 mars 1881, 15 juillet 1882, et 9 janvier 1883. Cette formule avait été mise sous la forme d'un abaque au moyen duquel la transformation de y en h était très rapide. Le résultat définitif auquel on arrivait, était corrigé en tenant compte de la date de l'observation. Cette correction était d'ailleurs toujours faible.

Durée d'une vibration du manomètre. — Lorsque le manomètre était brusquement soumis à l'effet d'une pression élevée, il se produisait des vibrations que le style inscrivait sur le cylindre. En inscrivant en même temps les vibrations d'un diapason battant la seconde, on avait le moyen de constater la durée des vibrations du manomètre. Nous avons trouvé que cette durée est restée sensiblement constante pendant toutes nos observations, et égale $0^{\text{m}},0305$. Cette unité de temps se trouvait naturellement écrite sur presque tous nos graphiques, car il était rare que le manomètre n'entrât pas en vibration sous l'influence de la pression brusquement développée par la combustion. C'est cette unité que nous avons constamment employée dans tous nos calculs. Il était facile de ramener ensuite tous les résultats à la seconde pour unité, lorsque cela était nécessaire.

Détail d'une observation. — Voici maintenant comment se faisait une observation. Supposons par exemple qu'il

s'agisse d'un mélange d'hydrogène et d'air. Le cylindre C contient en général les produits gazeux d'une expérience antérieure; on y fait le vide le moins imparfait possible avec la trompe ou la machine pneumatique et on laisse rentrer l'air; on fait le vide de nouveau, on remplit encore d'air et ainsi de suite. Lorsqu'on juge que l'air qui remplit l'appareil est suffisamment pur, on fait le vide jusqu'à ce que la colonne du manomètre à mercure s'arrête à la hauteur h_1 . On ferme alors la communication avec la machine pneumatique et l'on fait arriver l'hydrogène. Le gaz est préparé dans un appareil continu qu'on met directement en communication avec le cylindre. On arrête l'introduction de l'hydrogène lorsque la colonne mercurielle a une hauteur h_2 . On laisse alors rentrer l'air dans l'appareil en ayant soin que la vitesse d'arrivée soit assez considérable pour opérer un brassage intérieur. On s'arrête lorsque la colonne de mercure a une hauteur égale à h_3 . On observe enfin la pression atmosphérique H et la température θ_0 de l'eau qui enveloppe le cylindre.

On a ainsi introduit dans le cylindre un volume d'hydrogène proportionnel à $h_1 - h_2$, et un volume d'air proportionnel à $H - h_3$, à la température θ_0 . Seulement il faut remarquer que, les gaz étant saturés, le volume d'air $H - h_3$ contient un volume égal (ou proportionnel) à la tension de la vapeur à la température θ_0 . Cette correction, toujours assez faible, a cependant quelque importance dans certains cas.

Ceci fait, on ferme tous les robinets, sauf celui qui ouvre la communication avec le manomètre enregistreur L. On dispose sur le cylindre E un papier que l'on noircit au noir de fumée, et on le met en mouvement au moyen du moteur électrique. Le style trace alors sur le papier une section droite du cylindre qui correspond à la pression intérieure $H - h_3 = h$.

Lorsque l'on juge que le cylindre a pris sa vitesse nor-

male, on en approche un diapason battant le centième de seconde et qui inscrit ses vibrations. En même temps on lance l'étincelle ; la combustion se produit, l'aiguille du style est écartée de sa position et vient tracer sur le papier noirci une ligne continue dont les ordonnées, à partir de la ligne décrite avant la combustion, sont, à chaque instant, proportionnelles à l'excès $\omega - h$ de la pression variable ω du gaz sur la pression initiale h . Il s'agit, bien entendu, d'ordonnées circulaires ayant pour centre le centre de rotation de l'aiguille l , ou plutôt une courbe rendue un peu plus complexe par ce fait qu'elle est tracée sur un cylindre et non pas sur un plan.

Nous venons de dire que ces ordonnées sont proportionnelle à la pression $\omega - h$; hâtons-nous d'ajouter qu'il n'en serait ainsi que si l'on pouvait négliger l'accélération du style. Cette accélération, qui produit au départ, au moins dans le plus grand nombre des cas, des vibrations plus ou moins énergiques peut être regardée comme négligeable, lorsque ces vibrations sont éteintes.

Dès que la combustion est terminée, on ouvre le robinet r_1 , qui rend libre la communication avec le manomètre à mercure, et l'on note la hauteur h_1 de la colonne mercurielle qui reste suspendue dans le manomètre, lorsque le refroidissement du gaz intérieur paraît complet. La pression intérieure du gaz est alors, à la température θ_0 , égale à $H - h_1 = p_0$. La différence

$$h - p_0 = h_1 - h_2$$

est la contraction ou la dépression produite par la combustion. L'observation de cette donnée sert très utilement à contrôler la proportion des gaz mélangés et à s'assurer que la combustion s'est faite régulièrement.

Toutes les données de l'observation, ainsi que la date et le numéro d'ordre, sont inscrites sur le papier noirci, que l'on détache du cylindre, que l'on passe dans une dissolu-

tion de gomme-laque par l'alcool et qu'on laisse ensuite sécher. Les feuilles, préparées ainsi, peuvent être conservées indéfiniment et constituent des documents que l'on peut toujours consulter. Les tracés sont inaltérables, et l'on peut écrire sur la feuille au moyen d'une plume trempée dans du blanc à la gouache.

La *fig. 9*, pl. XV, donne la réduction d'une des courbes tracées par le style. Nous reviendrons plus tard sur l'interprétation de cette courbe.

SECONDE PARTIE.

RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.

I. — Phénomènes chimiques.

Nous commencerons par donner quelques détails sur les particularités que nous avons observées au sujet du phénomène purement chimique de la combustion.

Précautions prises pour la préparation des gaz.

— Les gaz introduits dans l'appareil étaient préparés avec soin au moment même de l'expérience, pour éviter l'altération qui se produit toujours dans les gazomètres.

L'oxygène était préparé avec du chlorate de potasse placé dans une petite cornue en verre; le gaz qui se dégagait se rendait directement dans l'appareil après avoir traversé un flacon laveur.

L'oxyde de carbone provenait de l'action de l'acide sulfurique sur le formiate de potasse. Les deux réactifs, dans les proportions convenables indiquées par M. Berthelot, étaient placés dans une cornue en verre, et une chaleur ménagée dégagait le gaz qui se rendait directement dans l'appareil. Des précautions analogues étaient prises pour le cyanogène.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

Quant au grisou, il était préparé par le procédé que nous avons indiqué dans notre premier mémoire. Il était rempli dans un gazomètre à eau, mais nous faisons en sorte d'utiliser le plus rapidement possible.

Contraction du volume. — L'observation de la contraction du volume des divers mélanges expérimentés a donné lieu aux remarques suivantes :

Mélanges combustibles formés par l'hydrogène. — Pour les mélanges dans lesquels l'élément combustible était l'hydrogène, la contraction observée a généralement été voisine de la contraction théorique; sauf pour quelques expériences évidemment fautives et qui ont été rejetées, la différence a été de l'ordre des erreurs d'observation.

Mélanges combustibles formés par l'oxyde de carbone. Il en était encore de même pour les mélanges dans lesquels l'élément comburant était l'oxyde de carbone, lorsqu'il n'y avait pas un excès d'oxyde de carbone. Dans ce dernier cas, la contraction observée était assez notablement plus faible que la contraction théorique. C'est ce qui résulte des nombres suivants :

DATES ¹ .	VOLUME de gaz ajouté à 1° de CO + O.	CONTRACTION théorique en millimètres de mercure.	CONTRACTION observée en millimètres de mercure.	DIFFÉRENCE.
1 VII, 7	0,305 O	175	173	— 2
1 VII, 6	1,17 CO	105	102	— 3
1 VII, 5	0,56 CO	146	127	— 19
1 VII, 4	0,63 CO	140	120	— 20
3 VII, 2	0,00	123	125	+ 2

Ainsi que dans tout ce qui suivra, le premier chiffre arabe de la date est le dixième du mois, le chiffre romain le numéro d'ordre du mois dans l'année, le dernier chiffre arabe est le numéro d'ordre parmi les expériences faites le jour considéré.

L'explication de ce fait se trouve dans l'action que l'oxyde de carbone exerce sur la vapeur d'eau à des températures même assez peu élevées. Il se forme de l'acide carbonique et de l'hydrogène. Le volume n'est pas changé, mais comme le gaz cesse d'être saturé, de nouvelles quantités de vapeur d'eau se mélangent au gaz, dont le volume final est augmenté. Cette réaction étant progressive et postérieure à la combustion ne pourrait avoir d'influence un peu sensible que sur la marche du refroidissement.

Mélanges combustibles formés par le cyanogène. — Avec les mélanges où l'élément comburant est le cyanogène, on n'observe, ce qui est d'accord avec la théorie, aucun changement de volume lorsque l'air et le cyanogène sont mélangés de manière que l'oxygène puisse brûler tout le gaz à l'état de CO^2 .

Lorsque le cyanogène est en excès et que l'oxygène est juste suffisant pour brûler le gaz à l'état de CO , on n'observe qu'une augmentation de volume inférieure à l'augmentation théorique. C'est ce qui résulte de l'expérience (4 XI, 3) dans laquelle on a constaté une augmentation de volume égale à 97 seulement, l'augmentation théorique étant égale à 107. Dans cette expérience, nous avons observé la production de 4 à 5 p. 100 d'acide carbonique, qu'on peut attribuer au moins en partie à l'action de l'oxyde de carbone sur la vapeur d'eau.

L'expérience (7 XI, 1) faite avec un mélange, en proportions égales, de cyanogène et d'oxygène, donne une augmentation de volume égale à 120 au lieu de l'augmentation théorique 97. Cette augmentation trop grande s'explique par la production de l'acide carbonique qui était, dans le gaz brûlé, en proportion de 15 p. 100. La formation de ce gaz peut elle-même s'expliquer en partie par l'action de l'oxyde de carbone sur la vapeur d'eau, action d'autant plus grande que, par suite de la faible densité donnée au

mélange gazeux initial ($h = 201^{\text{mm}}$ seulement), la proportion relative de vapeur d'eau dans le gaz était très grande.

Mélanges combustibles formés par le grisou. — Les mélanges combustibles formés par le grisou (CH_4) et l'air ont donné lieu à des remarques intéressantes. Les contractions observées sont contenues dans le tableau suivant :

NUMÉROS.	DATES.	V_f volume du grisou.	V_o volume d'oxygène.	CONTRAC- TION observée.	CONTRACTION théorique en supposant le grisou brûlé en CO_2 et H_2O .	CONTRACTION calculée par la formule $G = 2(V_o - V_f)$.
1° Mélanges de grisou et d'air.						
1	11 VI, 7	52	145	97	104	"
2	11 VI, 4	52	145	97	104	"
3	3 V, 2	60	143	107	120	"
4	11 VI, 3	61	143	107	122	"
5	11 VI, 9	70	138	130	140	"
6	2 VII, 3	71	136	129	"	130
7	11 III, 1	75	140	111	"	120
8	11 VI, 2	76	140	127	"	128
9	3 V, 1	81	139	113	"	116
10	11 VI, 8	81	139	116	"	116
11	11 VI, 5	85	138	105	"	106
12	11 VI, 6	95	136	82	"	82
2° Mélange de grisou et d'oxygène.						
13	13 VII, 1	134	247	205	"	226

On remarquera d'abord que les expériences sont concordantes, c'est-à-dire qu'elles donnent les mêmes contractions lorsque les proportions de gaz sont les mêmes, bien que le grisou employé ne provienne pas de la même fabrication. C'est ce dont on peut s'assurer en comparant les expériences 3 et 4 faites l'une en mai, l'autre en juin; les expériences 5 et 6 faites l'une en juin, l'autre en juillet; les expériences 7 et 8 faites l'une en mars, l'autre en juillet.

Lorsque le volume du grisou est inférieur à la moitié de



celui de l'oxygène, ce dernier gaz est suffisant pour brûler le grison à l'état de CO^2 et HO^2 suivant la formule



S'il n'y avait pas condensation, il n'y aurait pas changement de volume, mais, l'eau se condensant, il y a 4 volumes perdus, c'est-à-dire précisément le volume de l'oxygène employé, qui est lui-même le double de celui du grison. La contraction observée devait donc être égale au double du volume du grison. En réalité la contraction observée a toujours été notablement moindre, ce qui tient sans doute à ce que le gaz, préparé suivant les procédés indiqués, contient quelque autre gaz plus riche en carbone que le formène.

Pour les mélanges contenant un volume de grison supérieur au double de volume de l'oxygène, on ignore de quelle manière se fait la combustion. Il est à remarquer cependant que, dans ce cas, on obtient presque exactement la contraction observée en doublant l'excès de volume d'oxygène sur le volume du grison, $2(V_0 - V_f)$. C'est ce qui résulte de la comparaison de la dernière colonne du tableau avec l'antépénultième.

II. — Étude des tracés graphiques.

La *fig. 9*, Pl. XV, représente, réduit de moitié, le graphique obtenu dans l'expérience (4 XI, 3) faite avec un mélange de cyanogène et d'air.

Pour interpréter ce tracé, il faut se rappeler que la figure résulte du développement d'une surface cylindrique sur laquelle les lignes MN, M'N' étaient en contact. Cette surface était animée d'un mouvement uniforme de rotation qui entraînait tous les points dans le sens de la flèche F.

Avant l'inflammation, le style du manomètre décrivait sur



le cylindre une section circulaire qui, en développement, est devenue la droite AL. Au moment de l'inflammation le style, qui était en A, a été immédiatement écarté de AL, et, la pression croissant sans cesse dans le cylindre, il a décrit sur le cylindre tournant la courbe développée AL. On peut aisément savoir quel est le temps qui s'est écoulé entre le moment où le style était en A et celui où il est arrivé en B par exemple. Traçons en effet à partir de B la courbe que décrirait le style pour passer de la position d'équilibre (correspondant à la pression intérieure h) et arriver en B, le cylindre étant supposé immobile. Cette courbe, qui est presque exactement un arc de cercle, vient rencontrer AL en b . Le cylindre a donc tourné de l'arc Ab pendant le temps que le style a mis à aller de A en B. L'arc Ab représente ainsi ce temps puisque la vitesse de rotation du cylindre est uniforme.

A partir du point B, la pression décroît dans le cylindre, le gaz se refroidit et le style se rapproche de la droite AL. Mais comme le ressort du manomètre a été lancé avec une certaine vitesse, il se met à vibrer, et le style marque ses vibrations comme le montre la figure. Ces vibrations s'atténuent assez rapidement et finissent par cesser complètement. A partir de ce moment, le style trace sur le cylindre une courbe qui va sans cesse en se rapprochant de AL, et que l'on obtiendrait en plaçant bout à bout les fragments AB, C'DC, D'E etc. Les spires de cette courbe se rapprochent de plus en plus, car le refroidissement du gaz qui remplit le cylindre est d'autant plus lent que sa température devient plus faible. Lorsque le refroidissement du gaz est complet, le style décrit une droite parallèle à AL, mais située un peu au-dessus de celle-ci parce que, dans l'expérience choisie pour exemple, la pression finale est supérieure à la pression initiale h .

En résumé la courbe de la *fig. 9*, Pl. XV, ou plutôt celle qui résulterait comme on l'a dit plus haut, de la mise bout à

bout des fragments de courbe inscrits sur la figure, a pour abscisses les temps, et pour ordonnées (en prenant les ordonnées courbes, telles que Bb) les pressions qu'exerce à chaque instant le gaz qui remplit le cylindre, si l'on néglige l'accélération du style. La loi des variations que le temps amène dans la valeur de cette pression est donc exactement représentée par la courbe en question qui donne à chaque instant l'état du gaz dans le cylindre.

Or cet état du gaz se partage en deux périodes très distinctes :

1° La période pendant laquelle la pression croît, c'est-à-dire pendant laquelle l'inflammation se propage dans le cylindre ; elle est représentée par la portion AB de la courbe ;

2° La période pendant laquelle, le gaz, après avoir complètement brûlé, se refroidit avec une vitesse plus ou moins grande ; elle est évidemment représentée par la portion de la courbe qui suit le point B.

Pendant la première période, il n'y a pas dans le cylindre seulement combustion, il y a encore, et simultanément refroidissement, comme nous le verrons plus tard. Pour l'interprétation des phénomènes qui se produisent pendant la première période, il faut donc connaître la loi suivant laquelle le gaz se refroidit.

Cette loi du refroidissement, l'étude de la seconde partie de la courbe permet de la connaître avec une très grande précision. Nous commencerons par cette étude qui a d'ailleurs en elle-même un grand intérêt comme nous le montrerons plus loin.

1° ÉTUDE DE LA PÉRIODE DE REFROIDISSEMENT NORMAL.

Procédé de mesure des ordonnées de la courbe de refroidissement. — La première chose à faire, pour

udier la courbe correspondant à la période de refroidissement, est d'éliminer l'influence des vibrations, c'est-à-dire de déterminer la courbe que décrirait le style s'il ne vibrerait pas, et si sa position à chaque instant correspondait à la tension du ressort qui fait équilibre à la pression du gaz dans le cylindre.

Supposons, pour résoudre la question plus aisément, que la ligne cherchée soit une droite AB (*fig. 2*, Pl. XII) au-
 ur de laquelle le style décrit une sorte de sinusoïde
 amplitude graduellement décroissante.

Si l'on prend AB pour axe des x , et la direction perpen-
 culaire pour axe des y , la courbe sinusoïde aura une cer-
 taine équation

$$y = f(x) \sin x$$

dans laquelle $f(x)$ représente la loi de variation de l'am-
 plitude.

Pour tous les points correspondants à $x = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$,

on a

$$y = \pm f(x) \quad \text{et} \quad \frac{dy}{dx} = \pm f'(x).$$

La courbe $y = \pm f(x)$ se compose de deux branches ab ,
 b' , placées symétriquement de part et d'autre de AB et qui
 viennent toucher la sinusoïde à ses sommets. Si nous sup-
 posons tracées ces deux courbes, et si, par l'un des points
 de tangence t avec la sinusoïde nous menons l'ordonnée
 qui vient rencontrer en t' l'autre branche, le point m où
 cette ordonnée vient rencontrer AB est le milieu de tt' .

Il suffira donc pour tracer AB, de mener les courbes ab ,
 b' déterminées par la condition qu'elles sont tangentes
 aux sommets de la sinusoïde; de mener les ordonnées de
 tous les points de tangence en les prolongeant jusqu'à
 la branche de courbe symétrique, et de prendre les milieux



des droites ainsi déterminées. Les points ainsi obtenus sont des points de la droite AB.

En partant de ces principes, voici comment on étudie la courbe d'une expérience donnée. On mène deux courbes qui passent par les sommets maxima et minima des vibrations; puis on trace, au moyen d'un patron préparé avec soin, les ordonnées curvilignes correspondant aux sommets minima en les prolongeant jusqu'à la rencontre de la courbe qui passe par les sommets maxima. Les pieds de ces ordonnées doivent être équidistants, et la distance qui les sépare représente un temps égal à $0^{\text{m}},0305$. Ce temps est pris pour unité. En portant sur la ligne AL, à partir du point pris pour origine, des longueurs égales à celle qui représente cette unité de temps, on détermine, dans la portion de la courbe dépourvue de vibrations, les pieds des ordonnées qui marquent des temps équidistants; les points correspondants de la courbe s'obtiennent aisément.

Le temps correspondant à la première ordonnée maxima est noté 0,5. Celui qui correspond à la première ordonnée minima est 1, et ainsi de suite.

On mesure alors, au moyen d'un double décimètre gradué en demi-millimètres les ordonnées des points de la courbe ainsi déterminés. L'abaque permet de transformer ces ordonnées en pressions. Les pressions ainsi obtenues représentent $\varpi - h$; ϖ étant la pression variable du gaz (en centimètres de mercure), h étant la pression initiale dans le cylindre.

Si l'on appelle ϖ_0 la pression qu'exerce le gaz après son complet refroidissement, en supposant qu'il ne se soit pas condensé; si l'on appelle τ la température *absolue* du gaz à chaque instant, τ_0 la température *absolue* après complet refroidissement, on a, en admettant que le gaz suit les lois de Mariotte et de Gay-Lussac,

$$\frac{\varpi}{\varpi_0} = \frac{\tau}{\tau_0}.$$

On déduit de cette formule

$$\varpi - \varpi_0 = \frac{\varpi_0}{\tau_0} (\tau - \tau_0).$$

Comme τ_0 est la température du cylindre, on voit qu'à chaque instant, *lorsqu'il n'y a ni dissociation ni condensation*, $\varpi - \varpi_0$ est proportionnel à $\tau - \tau_0$, c'est-à-dire à l'excès de la température du gaz sur celle du cylindre.

Si k est la diminution de pression que produit la combustion, les gaz étant pris à la température τ_0 , on a

$$h - k = \varpi_0.$$

Dans les mélanges pour lesquels l'oxyde de carbone ou l'hydrogène est le gaz combustible, et *lorsqu'il n'y a pas de dissociation ou lorsque la recombinaison des éléments dissociés est achevée*, k est égal à la pression qu'exerce dans le mélange qui reste engagé dans la combinaison.

On a ainsi

$$\varpi - h + k = \varpi - \varpi_0.$$

Lorsqu'on a mesuré en centimètres de mercure, les ordonnées qui représentent $\varpi - h$, il suffit de leur ajouter le nombre constant k pour obtenir $\varpi - \varpi_0$.

Relevé de l'expérience (4 XI, 3). — Voici, comme exemple, le tableau des mesures effectuées sur l'expérience (4 XI, 3) représentée *fig. 9*, Pl. XV, et dans laquelle on a fait détoner un mélange de cyanogène et d'air devant brûler pour oxyde de carbone.

Expérience 4 XI, 3.

Gaz mélangés dans le cylindre.	{	C ² Az ²	10 ^{cm} ,7	{	63,2. Pression initiale <i>h</i> avant la combustion.
		Air.	51 ^{cm} ,5		
		Vap. hygrométrique. .	1,0		
					72,9. Pression finale après re froidissement.

Augmentation de pression théorique.	10,7
— observée.	9,7

Ordonnées pendant la période de refroidissement.

NUMÉROS des ordonnées.	MESURES en décimilli- mètres.	ORDONNÉES en centimètres de mercure. $\varpi - \lambda$.	$\varpi - \lambda - 10$ ou $\varpi - \varpi_0 = y$.	$\frac{dy}{dt}$.	$1000 \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$.
0,5 ¹	872-745 ²	625 ^{cm}	615 ^{cm}		
1	822-728	597	587	52	89
1,5	780-696	573	563	45	80
2	678-740	552	542	41,5	76
2,5	652-710	531	521	38	73
3	635-682	514	504	36	72
3,5	615-655	497	487	33,3	69
4	595-630	480	470	32,0	68
4,5	580-605	465	455	30,3	68
5	562-585	451	441	28,5	65
5,5	540-565	435	425	26,7	63
6	530-545	423	413	25,2	61
7	500-512	400	390	22,5	58
8	475-483	379	369	20,0	54
9	452-458	361	351	17,5	50
10	430-435	343	333	16	48
11	412-418	330	320	15	47
12	395	315	305	13,8	45
13	378	301	291	13	45
14	362	289	279	12	43
15	348	278	268	11	41
16	335	267	257	10,2	40
17	322	257	247	9,7	39
18	310	243	238	9	38
19	298	239	229	8,7	38
20	288	231	221	8,5	38,0
21	277	222	212	7,6	
26	237	191	181	5,9	32
31	202	163	153	4,5	29
36	181	146	136	3,4	25
41	160	129	119	3,0	25
46	144	116	106	2,5	23
51	128	104	94	2,1	22
56	117	95	85	1,65	19
61	107	87	77	1,5	19
66	98	80	70	1,3	18
71	90	74	64		

¹ L'ordonnée 0,5 est la première ordonnée correspondant à un maximum de la vibration; cette ordonnée n'est jamais connue qu'à peu près, parce que, pour l'obtenir, on est obligé de *prolonger* au sentiment la courbe tangente aux minima des vibrations.

² Ces deux nombres correspondent à chacune des deux courbes qui sont respectivement tangentes aux minima et aux maxima des vibrations.

Recherche d'une expression représentant la loi de la chute de pression. — Les nombres inscrits dans la quatrième colonne du tableau précédent sont proportionnels à l'excès de la température du gaz sur celle des parois de cylindre. Nous avons à chercher la loi de variation de ces nombres avec le temps t inscrit dans la première colonne. Cette loi est représentée par une certaine fonction

$$y = f(t).$$

Pour trouver l'expression de cette fonction, ou tout au moins une fonction qui ait sensiblement les mêmes valeurs entre les limites de l'expérience, nous pouvons former les valeurs de sa dérivée $\frac{dy}{dt}$. Nous emploierons à cet effet les formules connues. Si y' , y'' , y''' sont des valeurs de y correspondant à des temps équidistants et suffisamment rapprochés pour que la courbe puisse être assimilée dans cet intervalle à une parabole, $\frac{y''' - y'}{2}$ est la valeur de $\frac{dy}{dt}$ qui correspond à y'' .

Les valeurs de $\frac{dy}{dt}$ sont inscrites dans la cinquième colonne du tableau. Pour les obtenir on a naturellement augmenté l'intervalle de temps qui sépare les valeurs équidistantes y' , y'' , y''' à mesure que la courbure de la courbe $y = f(t)$ diminue.

Le problème est ainsi ramené à trouver l'expression de la fonction

$$\frac{dy}{dt} = f'(t).$$

Cette fonction a une signification physique intéressante, car $\frac{dy}{dt}$ est proportionnel à chaque instant à la vitesse de décroissement de la pression. Lorsqu'il n'y a ni dissocia-

tion ni condensation, $\frac{dy}{dt}$ est aussi proportionnel à la vitesse de l'abaissement de température de la masse gazeuse, c'est-à-dire à la vitesse du refroidissement.

Dans ce dernier cas, la vitesse du refroidissement est à chaque instant provoquée et réglée par l'excès de la température du gaz sur celle de l'enceinte, excès qui est alors lui-même proportionnel à $y = \varpi - \varpi_0$.

Au lieu de chercher la loi qui lie $\frac{dy}{dt}$ au temps t , on peut chercher la loi qui lie $\frac{dy}{dt}$ à y , et l'on peut espérer rencontrer une formule plus simple, puisque $\frac{dy}{dt}$ et y ont l'un avec l'autre une relation de cause à effet.

Nous allons donc chercher une fonction équivalente, dans les limites de l'observation, à la fonction

$$\frac{dy}{dt} = \varphi(y).$$

Cette fonction connue, une intégration donnera d'ailleurs la relation qui existe entre y et t .

Pour étudier la forme de la fonction $\varphi(y)$, nous nous servirons d'un procédé qui peut être considéré comme général et s'appliquant à toutes les questions analogues. On développe $\varphi(y)$ suivant les puissances croissantes de y , en s'arrêtant au terme du deuxième ordre, et remarquant que le terme indépendant de y manque, puisqu'on a choisi la variable y de telle sorte qu'elle est en quelque sorte la cause du phénomène que représente $\frac{dy}{dt}$. Nous aurons ainsi

$$\frac{dy}{dt} = ay + by^2.$$

En divisant par y les deux membres de cette égalité, il

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = a + by.$$

onc nous calculons, ce qui est aisé puisque nous
 sons les valeurs de y et de $\frac{dy}{dt}$, les valeurs succes-
 le $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$, et si nous les prenons pour les ordonnées
 igne ayant les y pour abscisses, cette ligne sera une
 dans le cas où la fonction $\varphi(y)$ sera correctement
 ntée en bornant son développement au terme en
 e construction graphique fera connaître très aisé-
 i cette condition est remplie, et dans ce cas la même
 iction donnera les valeurs de a et de b .

sixième colonne du tableau donne les valeurs de
 < 1000 . La *fig. 3*, Pl. XII, représente le tracé de
 le $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$, et montre que cette ligne est bien une
 car les écarts, avec la droite, des points donnés par
 vation ne dépassent pas les erreurs inévitables des
 s des ordonnées. Ces ordonnées sont en effet mesu-
 a décimillimètre, et l'erreur possible est toujours
 s unités.

pression de la vitesse de refroidissement. —
 e de la *fig. 3*, Pl. XII, montre que

$$a = 0,008 \qquad b = 0,000124,$$

le que la fonction $\frac{dy}{dt}$ est représentée par la formule

$$\frac{dy}{dt} = 0,008y + 0,000124y^2. \qquad (1)$$

e expression est correcte entre des limites très éten

dues de y , soit entre 615 et 64 centimètres de mercure. Il est d'après cela vraisemblable qu'elle serait encore correcte au moins dans une certaine étendue au-dessus et au-dessous de ces limites.

On peut déduire de là l'expression de la vitesse de refroidissement de la masse gazeuse. Nous avons vu en effet que

$$y = \varpi - \varpi_0 = \frac{\varpi_0}{\tau_0} (\tau - \tau_0),$$

τ désignant la température absolue du gaz et τ_0 celle de l'enceinte qu'on peut supposer invariable, à cause de la grande masse du cylindre, de sa facile conductibilité et de la petite quantité de chaleur totale que contient la masse gazeuse. Si l'on représente par θ l'excès $\tau - \tau_0$, $\frac{d\theta}{dt}$ est la vitesse de refroidissement, et l'on a

$$y = \frac{\varpi_0}{\tau_0} \theta, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{\varpi_0}{\tau_0} \frac{d\theta}{dt}.$$

En remplaçant, dans l'expression de $\frac{dy}{dt}$, y et $\frac{dy}{dt}$ par ces valeurs, il vient

$$\frac{d\theta}{dt} = a\theta + b \frac{\varpi_0}{\tau_0} \theta^2.$$

Dans l'expression dont il s'agit, on a

$$\tau_0 = 283 + 12 = 295^\circ, \quad \varpi_0 = 72,9,$$

et en combinant ces valeurs avec (1), on obtient

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,008 \theta + 0,000 0331 \theta^2. \quad (2)$$

L'unité de temps employée est la durée d'une vibration du manomètre, qui est sensiblement égale, comme on l'a vu, à 0,0305. C'est pour rappeler cette unité de temps particulière que nous mettons la lettre v en indice de $\frac{d\theta}{dt}$. On

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

ra pour unité la seconde en divisant $\frac{dy}{dt}$ par 0',0305, donne

$$\theta' = 0,264 \theta + 0,00109 \theta^2 = 0,266 \theta (1 + 0,00408 \theta). \quad (3)$$

is indiquons la nature de l'unité de temps en mettant en indice de $\frac{d\theta}{dt}$. Cette formule représente correcte-

le refroidissement entre les excès de température correspondant aux valeurs de $\omega - \omega_0$ égales à 615^{cm} et soit entre 2400° et 274°. Elle s'appliquerait sans doute pour des températures notablement supérieures et des températures notablement inférieures, quoique, ces dernières, il soit difficile de le constater par notre dé; les mesures des ordonnées devenant trop incertaines pour des pressions aussi faibles.

Definition de la température du gaz. — Dans tout ce qui précède, nous avons parlé de la température du gaz qui remplit le cylindre sans spécifier ce qu'on devait entendre par cette expression. Nous appellerons ainsi une température absolue τ qui, si elle était la même en tous les points de la masse gazeuse, rendrait compte de la pression ω observée, suivant l'équation

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0}.$$

Il n'est pas certain que cette condition soit réalisée, à-dire que l'égalité de température règne à chaque instant dans toute la masse gazeuse; sous ce rapport nous ne pouvons faire que des conjectures, car la répartition de la température, à un instant déterminé, dans une masse gazeuse dont la température varie incessamment, ne peut être expérimentalement constatée. Il n'y a rien

d'impossible à supposer que la masse gazeuse, soustraite dans l'intérieur du cylindre à toute cause accidentelle de mouvement, se comporte d'une manière assez analogue à celle d'un corps solide qui se refroidit par la surface, les courants engendrés par les différences de densité n'ayant alors qu'une faible importance. Nous verrons en effet plus loin que la propagation de l'inflammation dans la masse gazeuse, semble se faire assez régulièrement suivant une onde sphérique, sans que l'influence des courants paraisse nuire beaucoup à la régularité de la marche de cette onde, et cela même dans le cas où la propagation dure un temps fort notable, quelques dixièmes de seconde par exemple.

L'égalité rigoureuse de température en tous les points de la masse gazeuse n'est donc pas vraisemblable. Mais il est difficile de dire de quel ordre de grandeur peut être l'excès de la température de la masse gazeuse intérieure sur celle de la couche superficielle. On peut seulement faire remarquer qu'il y a dans le gaz, entre la température de la surface et celle de l'intérieur, une dépendance qui ne se rencontre pas dans un solide. En effet lorsque la couche superficielle se refroidit, elle diminue la pression de toute la masse, et cette dilatation qui se transmet à peu près instantanément jusqu'au centre, refroidit les couches inférieures bien avant que l'influence du refroidissement par conductibilité se soit exercée sur elles.

Si l'on ajoute à cette influence, qui tend à égaliser la température, celle des courants provoqués par le changement de densité, on peut considérer comme vraisemblable qu'il n'y a pas une différence très considérable entre la température de l'intérieur et de celle la surface de la masse gazeuse.

Quoi qu'il en soit, on peut se demander si la quantité de chaleur perdue à chaque instant par la masse gazeuse serait correctement obtenue en la calculant au moyen de la

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

se de refroidissement déduite de la variation de pression et il est aisé de voir qu'il en est bien ainsi.

Supposons, en effet, pour simplifier, que la masse du gaz soit sphérique, de telle sorte que les couches isothermes soient des sphères concentriques.

Appelons τ , la température absolue fictive qu'on déduit de l'observation de la pression ω de la masse gazeuse. Appelons en outre τ' la température vraie de la surface, τ'' la température vraie du centre, τ la température d'un point quelconque, et V le volume de la masse totale exerçant la pression ω . On a

$$\frac{\omega V}{\tau} = \int_{\tau}^{\tau''} \frac{\omega dv}{\tau}$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{V} \int_{\tau}^{\tau'} \frac{dv}{\tau} \quad (a)$$

étant le volume très petit qui possède la température τ .

Pour qu'une certaine température fictive τ_m appliquée à la masse gazeuse, rende compte de la quantité de chaleur réellement contenue dans cette masse, il faut et il suffit que l'on ait, c_s étant la chaleur spécifique moyenne entre τ et τ_m ,

$$c_s \omega \int_{\tau}^{\tau''} \frac{dv}{\tau} (\tau - \tau_m) = c_s \omega \frac{V}{\tau_m} (\tau_m - \tau_m)$$

$$\frac{1}{V} \left\{ \int_{\tau}^{\tau'} dv - \tau_m \int_{\tau}^{\tau'} \frac{dv}{\tau} \right\} = 1 - \frac{\tau_m}{\tau},$$

cause de $\frac{1}{V} \int_{\tau}^{\tau''} dv = 1,$

$$\frac{1}{\tau_m} = \frac{1}{V} \int_{\tau}^{\tau'} \frac{dv}{\tau}. \quad (b)$$

La comparaison des deux égalités (a) et (b) montre que $\tau_m = \tau$, ce qui démontre le théorème énoncé.

Uniformité de la loi qui régit la vitesse de refroidissement. — L'examen de l'épure représentée *fig. 3. Pl. XII* a une autre utilité que celle de nous donner la loi de refroidissement de la masse gazeuse. Elle nous permet en effet d'affirmer qu'une même loi de refroidissement s'applique aux températures voisines de 2400° , et aux températures voisines de 200° . Or, pour ces dernières, on est assuré qu'il ne se produit dans la masse aucun phénomène autre que la variation de température causée par le refroidissement. Il en est donc de même pour toutes les températures comprises entre 200° et 2400° . Dans cet intervalle considérable de température, les propriétés physiques du gaz restent sensiblement les mêmes, et par conséquent aucun phénomène chimique ne vient altérer la nature de ses molécules. En d'autres termes, il ne se produit pas de dissociation sensible dans le mélange d'azote, d'oxyde de carbone et d'une très faible proportion d'acide carbonique, qu'a produit la combinaison du cyanogène avec l'oxygène de l'air. Dans les conditions de l'expérience et entre les limites précitées de température, l'oxyde de carbone ne subit donc pas de dissociation sensible, ou du moins les choses se passent de telle façon que cette dissociation, si elle se produit, n'influe pas sur la vitesse de refroidissement de la masse gazeuse.

Relevé de l'expérience (4 XI, 2). — Constatation de la dissociation. — Nous passerons maintenant au relevé complet d'une autre expérience faite sur la combustion du mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène.

(41 XI, 2). CO et O. — Mélange tonnant.

$$\lambda = 73,2 \quad \omega_0 \left\{ \begin{array}{l} \text{théorique.} \quad \dots 49,1 \\ \text{observé.} \quad \dots 50,2 \end{array} \right. \quad \tau_0 = 273 + 12$$

EMPS t vibra- tions mano- mètre.	$\omega - \omega_0 = y$ en centimètres de mercure.	$\frac{dy}{dt}$	$1000 \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$	TEMPS t en vibra- tions du mano- mètre.	$\omega - \omega_0 = y$ en centimètres de mercure.	$\frac{dy}{dt}$	$1000 \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$
1	577	*	*	14	279	15,5	55,5
1,5	566	37	66,4	15	274	14,0	53,0
2	540	31,2	57,7	16	254	12,0	48,0
2,5	525	29,0	53,9	17	234	11,0	46,0
3	511	26,4	52,5	18	227	10,5	46,2
3,5	498	25,3	49,3	19	219	9,5	43,4
4	487	24,1	49,0				
4,5	474	23,4	50,1	24	177	6,8	38,3
5	463	23,3	49,5	29	140	4,8	32,0
5,5	452	22,9	50,9	34	129	3,6	27,9
6	440	23,1	52,4	39	113	2,9	25,6
6,5	429	23,0	54,7	44	100	2,4	24,0
7	417	22,8	56,7	49	89	1,95	22,0
7,5	405	22,5	55,1	54	81	1,7	21,0
8	394	21,8	54,5	59	74	1,4	18,9
8,5	381	21,7	56,0				
9	373	21,2	57,0				
9,5	362	21,2	58,0	64	66	1,25	19,0
10	352	21,2	60,2	69	61	1,12	14,9
				74	56	0,9	16,0
11	331	19	57,5	79	51	0,8	15,8
12	314	18	57,4	84	46	0,75	15,6
13	295	17,5	58,4	89	43	0,65	14,5

La fig. 4, Pl. XII, montre le tracé qu'on obtient en prenant pour abscisses les $\omega - \omega_0$ et pour ordonnées les $1000 \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ du tableau précédent. On voit à première vue que la ligne jalonnée par les points déduits de l'observation est, dans la limite des erreurs de mesure, exactement horizontale depuis $\omega - \omega_0 = 0$ jusqu'à $\omega - \omega_0 = 315$ environ. Au-dessus de cette pression la ligne change, presque brusquement, de direction, tout en restant droite jusque

vers la pression 450 pour se courber ensuite en se relevant.

Il est manifeste que, si nous suivons la courbe en sens inverse et en partant des pressions les plus élevées, il se produit jusqu'à la pression 315 un mode de refroidissement particulier qui, au moins pendant toute la période qui s'étend depuis la pression 475 jusqu'à la pression 315, période pendant laquelle la ligne de la figure est une droite à coefficient angulaire faible mais négatif, est caractérisé par un ralentissement considérable dans la rapidité du refroidissement. La cause de ce ralentissement ne peut être un phénomène d'ordre physique; il est en effet d'ordre chimique et c'est la *dissociation*.

La dissociation très importante de l'acide carbonique aux températures élevées est en effet bien connue depuis les mémorables travaux de Henri Sainte-Claire-Deville. Elle ralentit naturellement le refroidissement puisque, pendant qu'elle dure, à une certaine quantité de chaleur perdue sous l'influence de la paroi, correspond une quantité de chaleur gagnée, moindre il est vrai, et due à la combinaison d'une fraction de l'oxyde de carbone et de l'oxygène dissociés.

Au-dessous de la pression 315, la loi du refroidissement reste invariable jusqu'aux pressions les plus basses que l'on puisse utilement mesurer. Pendant toute cette période, l'état physique du gaz reste donc le même, il n'y a pas de dissociation.

Après avoir montré, par un exemple, avec quelle netteté notre procédé d'expérimentation constate, suivant les cas, la présence ou l'absence de la dissociation, nous laisserons de côté ce dernier phénomène, que nous étudierons plus tard avec détail, et nous rechercherons quelle est la loi du refroidissement, ou, d'une manière plus générale, de la chute de pression, pour les différents mélanges gazeux soumis à l'expérience.

Refroidissement des gaz permanents.

Expression de la vitesse du refroidissement de l'acide carbonique. Influence de la densité du mélange gazeux. — L'expérience (4 XI, 2) nous donne la loi du refroidissement de l'acide carbonique pendant la période de non dissociation. Cette loi est représentée par la formule

$$\frac{dy}{dt} = 0,0055 y + 0,000 017 8 \theta^2;$$

ou, en transformant les pressions en températures

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,0055 \theta + 0,000 0307 \theta^2,$$

la durée de la vibration du manomètre étant prise pour unité. En prenant la seconde pour unité on a

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,180 \theta + 0,001 01 \theta^2.$$

Nous rangeons dans le tableau suivant les coefficients α et β de la formule

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = \alpha \theta + \beta \theta^2$$

tels qu'on les déduit d'un certain nombre de nos expériences faites avec des mélanges d'oxyde de carbone, et d'acide carbonique ; ils ne contenaient, après combustion, que de l'acide carbonique avec la légère quantité de vapeur d'eau qui sature le gaz à la température ordinaire. Nous avons rangé ces expériences suivant les valeurs croissantes de ϖ_0 , c'est-à-dire suivant les valeurs croissantes de la densité que possède le mélange gazeux après la combustion.

NUMÉROS.	DATES.	ϖ_0	$10^3 \alpha$	$10^6 \beta$ observé.	$10^6 \beta$ calculé.
1	5 XI, 1	13,3	6	92,0	92,5
2	13 VII, 2	28,3	6	47,7	47,5
3	4 XI, 2	49,1	5,5	30,7	30,5
4	30 VI, 2	52,0	5	28,5	29,2
5	13 VII, 3	52,3	5	29,0	29,1
6	1 VII, 2	55,5	5	31,0	"
7	9 V, 1	57,8	6	30,0	"
8	8 V, 2	60,0	5	29,6	"
9	1 VII, 1	61,5	4	29,6	"
10	8 V, 3	66,8	5	29,3	24,4

On voit, sur ce tableau, que le coefficient α paraît rester à peu près constant, se montrant ainsi presque indépendant de la pression ϖ_0 . Ce coefficient est au reste assez mal déterminé; en raison de sa petitesse, il n'a en effet presque aucune influence sur la vitesse de refroidissement aux hautes températures, pour lesquelles seules notre procédé d'expérimentation présente des garanties suffisantes d'exactitude.

Quant au coefficient β , si l'on se borne d'abord à l'examen des expériences 1 à 5, dans lesquelles la pression ϖ_0 subit de fortes variations, depuis $13^{\text{mm}},3$ jusqu'à $52^{\text{mm}},3$, on voit avec netteté que β croît lorsque ϖ_0 décroît. Si l'on place les points de ces cinq expériences sur une ligne ayant β pour ordonnée et $\frac{1}{\varpi_0}$ pour abscisses, on voit que cette ligne est presque rigoureusement droite, en ayant un coefficient angulaire égal à $10^{-6}.1130$ et coupant l'axe des ordonnées au point $10^{-6}.7,5$. On a donc

$$10^6 \cdot \beta = 7,5 + \frac{1130}{\varpi_0},$$

ϖ_0 étant toujours exprimé en centimètres de mercure.

On a inscrit dans la dernière colonne du tableau, les va-

leurs de $10^4 \cdot \beta$ calculées avec cette formule, et l'on voit que l'identité avec les valeurs calculées est presque complète. Si nous examinons maintenant les expériences 6 à 10, pour lesquelles, il est vrai, la pression ne subit que des variations relativement faibles, de 55,5 à 66,8, on voit que les variations de β semblent ne plus suivre la même loi. La formule trouvée précédemment donnerait 24,4 pour l'expérience 10 avec la pression 66,8 tandis que l'observation donne 29,3.

Nos expériences ne s'étendent pas à des pressions suffisamment élevées pour que l'on puisse en déduire avec certitude que la loi de variation de la vitesse de refroidissement ne suit pas aux pressions élevées, la même loi qu'aux pressions basses, et les différences que nous observons sont à peine supérieures aux erreurs possibles d'observation. Le fait cependant doit être noté, car M. A. Witz (*) dans ses expériences sur le pouvoir refroidissant de l'air a constaté qu'au dessus d'une pression représentée par 79^{mm},2 de mercure, le pouvoir refroidissant est presque indépendant de cette pression.

Quoiqu'il en soit, pour des valeurs de ω , qui ne dépassent pas 50 à 55 centim. de mercure, nos expériences donnent, pour la vitesse de refroidissement de l'acide carbonique

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_c = 10^{-4} \cdot 5,5 \theta + 10^{-4} \left(7,5 + \frac{1150}{\omega_c}\right) \theta^2$$

en prenant pour unité de temps les vibrations de notre manomètre, et

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_c = 0,18 \theta + \left(0,00021 + \frac{0,0524}{\omega_c}\right) \theta^2$$

avec la seconde pour unité.

La vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ est considérable aux températures élevées.

(*) *Ann. ch. et phys.* (5), XVIII, 1. 1879.

On a en effet avec $\omega_0 = 76$

$$\begin{aligned} \text{à } 1000^\circ & \quad \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 908^\circ \\ \text{à } 2000^\circ & \quad \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 3272^\circ \end{aligned}$$

Ainsi un gaz à 2.000° commence à se refroidir avec une vitesse de 3.272° à la seconde.

Il est intéressant de comparer cette formule avec celles qui ont été établies pour représenter la vitesse de refroidissement dans le voisinage des températures ordinaires.

M. Witz (*) qui a fait des observations sur la vitesse de réchauffement de l'air la représente, sous la pression moyenne de 84^{cm} , par la formule

$$v = 1,48 (0,11 \theta + 0,0019 \theta^2)$$

θ étant l'excès de température de l'enceinte sur celle du gaz. Il a trouvé la vitesse de refroidissement plus grande que la vitesse de réchauffement dans le rapport de 1,17 à 1 environ. Enfin le rapport du coefficient de conductibilité de l'acide carbonique à celui de l'air est, d'après les plus récentes observations, de $\frac{40}{48} = \frac{1}{1,2}$. D'après ces données la vitesse du refroidissement de l'acide carbonique, sous la pression 84^{cm} et pour un excès de 40 serait

$$\frac{1,17}{1,2} \times 10,30 = 10,1.$$

Notre formule donnerait 11,36. Ces nombres sont très comparables entre eux; on les rapprocherait encore l'un de l'autre en abaissant légèrement notre coefficient α_s . Au lieu de prendre $\alpha_s = 0,00055$, si l'on prenait $\alpha_s = 0,005$ et par conséquent $\alpha_s = 0,164$ au lieu de 0,18, on trouverait pour la vi-

(*) *Ann. ch. et phys.* (5), XV, 433. 1878.

tesse de refroidissement dans les conditions précitées, 10,7. Nous avons déjà remarqué d'ailleurs que ce coefficient α était très mal déterminé par nos observations.

Comparaison de nos formules avec les données connues sur la conductibilité du gaz. — La vitesse de refroidissement d'un gaz chaud, sous l'influence des parois, est un phénomène si complexe qu'il est difficile de rattacher notre formule à des données simples relatives à la nature des gaz. Dans ce phénomène, en effet, intervient la conductibilité du gaz, les mouvements qui se produisent dans la masse, le rayonnement du gaz, etc. On peut toutefois remarquer que la vitesse du refroidissement étant connue, on aura la perte de chaleur pendant une seconde en multipliant cette vitesse par le poids de la masse gazeuse et par la chaleur spécifique vraie. Appelant c la chaleur spécifique vraie, à la température du gaz que nous supposerons égale à θ , ce qui revient à supposer la température des parois égale à 0° ; appelant en outre p_0 le poids de l'unité de volume à 0° et 760^{mm} , on aura pour la quantité de chaleur perdue pendant une seconde

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{p_0 c \varpi_0}{273} \cdot \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{p_0 c}{273} [(0,18 \theta + 0,00021 \theta^2) \varpi_0 + 0,0394 \theta^2]$$

L'expression de $\frac{dQ}{dt}$ se compose donc d'une partie proportionnelle à ϖ_0 et d'un terme en θ^2 indépendant de ϖ_0 . Ce dernier terme est d'ailleurs, aux hautes températures, le terme prépondérant, comme on peut le voir par les nombres suivants :

	$0,18 \theta + 0,00021 \theta^2$	$0,0394 \theta^2$
	<hr/>	<hr/>
1000°	29 640	39 400
2000°	91 200	157 600

Or on peut supposer que le refroidissement du gaz, aux

températures élevées que nous considérons principalement, provient de deux causes qui s'ajoutent, d'une part le refroidissement par conductibilité, d'autre part le rayonnement sur la paroi.

La perte de chaleur due au premier effet, qui doit être proportionnelle à l'excès de température θ et au coefficient de conductibilité k , peut être supposée égale à $k\theta$. Or, M. Winckelman (*) a montré que le coefficient de conductibilité k de l'acide carbonique est représenté par la formule

$$k = k_0(1 + \beta\theta)$$

k étant indépendant de la densité du gaz et β étant égal à 0,005 ou 0,006. La perte de chaleur du gaz due à la conductibilité serait donc représentée par

$$k_0\theta + k_0\beta\theta^2,$$

et serait indépendante de la pression ϖ_0 .

Quant à la perte par rayonnement elle doit être proportionnelle à la masse qui rayonne, c'est-à-dire à ϖ_0 .

La perte totale devrait donc être représentée par une somme de termes telle que

$$\varpi_0 f(\theta) + mk_0\theta + mk_0\beta\theta^2,$$

$f(\theta)$ étant la fonction qui représente le rayonnement du gaz en fonction de la température. La formule à laquelle nous sommes arrivés est

$$\varpi_0 f(\theta) + M\theta^2.$$

Il ne manque que le terme $mk_0\theta$ qui fait sentir surtout son influence aux basses températures et que nos expériences ont été sans doute impuissantes à séparer du terme $\varpi_0 f(\theta)$.

Vitesse du refroidissement des gaz parfaits. —

(*) *Pogg. Ann.* 187, p. 537. 1876.

Jusqu'ici nous avons considéré l'acide carbonique se refroidissant seul. Nous allons maintenant considérer le refroidissement de mélanges contenant des gaz parfaits, c'est-à-dire des gaz qui suivent presque rigoureusement, à la température ordinaire, les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

Pour soumettre à l'expérience le refroidissement de ces gaz, il suffit de brûler un mélange de cyanogène et d'air ou de cyanogène et d'oxygène.

Nous avons déjà donné avec détail l'expérience (4 XI, 3) faite en brûlant le cyanogène avec l'air, de manière à former de l'oxyde de carbone. Il se forme toujours, dans cette combustion, une petite quantité d'acide carbonique, mais cette quantité peut être négligée quant à ce qui regarde la loi de refroidissement, et l'on peut regarder le gaz qui se refroidit comme formé à peu près de 0,7 d'azote et 0,3 d'oxyde de carbone. Nous avons vu que la formule de refroidissement de ce mélange est, entre 0° et 1400°, pour la pression $\varpi_0 = 73,9$.

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_0 = 0,008 \theta + 0,000 033 \theta^2$$

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_0 = 0,008 \theta + 0,000 033 \theta^2.$$

En comparant ces formules à celles qui s'appliquent l'acide carbonique, on voit que les coefficients sont analogues, quoiqu'un peu plus grands pour les gaz permanents :

	α_0	β_0
Acide carbonique . . .	0,0055	0,000 029
Gaz parfait.	0,008	0,000 033

Le refroidissement est donc un peu plus rapide pour les gaz parfaits, ce qui est d'accord avec l'ordre de grandeur des coefficients de conductibilité.

L'expérience (7 XI, 1) a été faite avec un mélange de cyanogène et d'oxygène en proportions telles que la combus-

tion produise de l'oxyde de carbone. Les données en sont les suivantes :

Cy	9,7	$\tau_0 = 273 + 12$	$\varpi_0 = 30,1$
O.	9,7		
Vapeur. . .	1,0		
	<hr/>		
	20,4		

La combustion n'a pas seulement produit de l'oxyde de carbone, car, après refroidissement, ϖ_0 est égal à 32,4 au lieu de 30,1, qui serait la valeur théorique. Après avoir ajouté de l'air jusqu'à ce que le mélange avec le gaz brûlé soit à la pression atmosphérique égale à 76,7, le cylindre contient 42,2 de gaz brûlé et 57,8 d'air. On constate que 8 p. 100 de ce mélange est absorbé par la potasse. Le gaz brûlé contenait donc 18,9 p. 100 de gaz absorbable par la potasse.

La *fig. 5*, Pl. XII, représente pour cette expérience la ligne

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = f(y)$$

y désignant toujours $\varpi - \varpi_0$. On voit que cette ligne présente une forme très différente de celle que nous avons rencontrée jusqu'ici; elle n'est droite que depuis la température ordinaire jusqu'à la pression 212 qui correspond ici à 2000°. Au-dessus de cette température, la ligne se courbe d'une manière très apparente en présentant sa convexité vers l'axe des x .

Au-dessous de 2000°, la droite qui représente la loi de refroidissement se poursuivant régulièrement jusqu'à la température ordinaire, donne pour ce refroidissement la loi

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,004 \theta + 0,000 088 \theta^2$$

ou

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,13 \theta + 0,0029 \theta^2.$$

Le refroidissement est ici devenu beaucoup plus rapide à cause de la faible densité du gaz. En combinant cette expression avec la précédente, on verrait que le coefficient β de l'expression de la vitesse de refroidissement devrait être représenté par

$$10^6 \cdot \beta_0 = -10 + \frac{3200}{\varpi_0}.$$

Cette formule n'est d'ailleurs qu'approximative, car les expériences combinées entre elles ne sont pas entièrement comparables, l'une contenant principalement de l'azote et l'autre principalement de l'oxyde de carbone.

Nous reviendrons plus tard, pour en chercher la cause, sur l'anomalie que présente, au-dessus de 2000° , la loi du refroidissement de l'oxyde de carbone, mais il est fort important, pour la suite de nos calculs, de connaître une formule empirique qui représente correctement le refroidissement au-dessus de 2000° . On arriverait à trouver une semblable formule en ajoutant à la formule à deux termes, $\alpha\theta + \beta\theta^2$, un terme en θ^3 , et au besoin même un terme en θ^4 . Mais le nombre de coefficients à déterminer irait ainsi en augmentant. Il est préférable, sans augmenter le nombre des coefficients, de chercher à donner une autre forme à la fonction.

Nous avons été conduits, après de nombreux tâtonnements, à la formule relativement simple

$$\text{Log } \frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = a + by,$$

qui représente encore une droite si l'on prend y pour abscisse et $\log \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ pour ordonnée.

La *fig. 6*, Pl. XII, représente la figure que l'on obtient en appliquant cette construction à l'expérience (7 XI, 1). On voit que le refroidissement est correctement représenté par la formule pour toutes les pressions supérieures à 125,

c'est-à-dire pour toutes les températures supérieures à 1100°. Par contre, pour les températures inférieures, la formule s'éloigne considérablement de l'observation. La formule logarithmique n'a donc que la valeur d'une loi empirique qui nous permettra ultérieurement de trouver la pression développée par la combustion.

Vitesse de refroidissement des mélanges contenant de l'oxyde de carbone mélangé à l'acide carbonique. — Nous avons expérimenté sur des mélanges formés, après combustion, d'acide carbonique accompagné de l'un des trois gaz, oxygène, oxyde de carbone ou azote. Nous allons passer successivement en revue quelques-unes de nos expériences.

1° Mélanges d'acide carbonique et d'oxyde de carbone.

La *fig. 1*, Pl. XIII, montre la ligne qui représente

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = f(y)$$

pour l'expérience (28 X, 2), dans laquelle le gaz soumis au refroidissement était composé de

$$\begin{aligned} &0,253 \text{ CO}^2 \\ &0,732 \text{ CO} \\ &0,015 \text{ vapeur.} \end{aligned}$$

La pression ϖ_0 était égale à 64,8 ; $\tau_0 = 273 + 11$.

On voit que la ligne est droite à partir de $\varpi - \varpi_0 = 0$ jusque vers une valeur de la pression $\varpi - \varpi_0$ égale à 250^{mm}, correspondant à 1100°. Dans cette portion on a

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,006 \theta + 0,000 037 \theta^2$$

ou

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,20 \theta + 0,0012 \theta^2.$$

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

ne s'éloigne pas beaucoup de ce qu'on a trouvé pour le mélange d'oxyde de carbone et d'azote de l'expérience 1, 3) qui a donné

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,008\theta + 0,000\ 033\theta^2.$$

mais, au-dessus de 1100° , la ligne se courbe d'une manière très apparente, comme on l'a déjà remarqué pour le mélange formé par le cyanogène brûlant avec l'oxygène et l'oxyde de carbone.

Nous retrouvons donc ici la même particularité que celle que nous avons rencontrée dans les expériences précédentes faites avec des mélanges renfermant de l'oxyde de carbone. Seulement le changement dans la loi du refroidissement commence pour des températures plus basses.

La fig. 2, Pl. XIII, représente la ligne

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = f(y),$$

correspondant à l'expérience (28 X, 1), dans laquelle le gaz soumis au refroidissement contenait

0,557 CO^2
0,427 CO
0,016 vapeur d'eau.

On voit, dans la figure, que le refroidissement a présenté les mêmes périodes que dans l'expérience précédente, sauf qu'on constate une dissociation à partir des pressions les plus élevées jusqu'à la pression 360 environ, à laquelle commence la période de refroidissement accéléré à la pression 285, correspondant à la température 1420° ; à partir de ce point jusqu'aux températures les plus basses, la ligne est une droite qui donne, pour la loi de refroidissement

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,005\theta + 0,000\ 034\theta^2$$

ou

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,16 \theta + 0,0011 \theta^2.$$

Vitesse de refroidissement des mélanges contenant de l'oxygène mélangé à l'acide carbonique. — La *fig. 3 Pl. XIII*, représente la courbe $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ pour l'expérience (27 X, 2), dans laquelle $\varpi_0 = 65,1$; $\tau_0 = 273 + 12$, le mélange brûlé contenant

0,247 CO²
0,738 O
0,015 vapeur.

On constate que la ligne est droite à partir de $\varpi - \varpi_0 = 0$, jusqu'à $\varpi - \varpi_0 = 310$ correspondant à la température de 1360°. Au-dessus, la ligne présente une courbure moins prononcée que celle que nous avons observée pour les mélanges contenant de l'oxyde de carbone, mais de même nature, c'est-à-dire accusant un accroissement dans la vitesse de refroidissement.

Un commencement de dissociation est à peine indiqué au-dessus de la pression 392 qui correspondrait à la température de 1710.

La partie rectiligne donne, pour la vitesse de refroidissement, la formule

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,006 \theta + 0,000032 \theta^2$$

ou

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,20 \theta + 0,00105 \theta^2$$

formules très semblables à celles que nous avons trouvées pour les autres mélanges.

Puisque nous observons ici, aux températures élevées, un changement dans la loi de refroidissement analogue à celui qui a été observé avec l'oxyde de carbone, nous en

ION DES MÉLANGES GAZEUX.

même cause doit être invoquée dans les
angement était attribué à une modifica-
l'oxyde de carbone, il faudrait attri-
| changement physique analogue.

l, se rapporte à l'expérience (1 VII, 7)
Mélange se refroidissant était formé de

0,665 CO²
0,314 O
0,021 vapeur.

période de dissociation de l'acide car-
une accélération assez faible du refroi-
e jusqu'à la pression 210 correspon-
re 1130° environ. Au-dessous la ligne
pour la vitesse de refroidissement, les

$$= 0,006 \theta + 0,000034 \theta^2$$

$$= 0,20 \theta + 0,0011 \theta^2$$

à celles obtenues avec l'expérience pré-

oidissement des mélanges conte-
mélange à l'acide carbonique. — La
apporte à l'expérience (26 X, 4) dans la-
oidissant avait la composition suivante.

0,281 CO²
0,667 Az
0,037 O
0,016 vapeur

$$= 64 \cdot 0, \quad \tau_0 = 273 + 12.$$

mas de dissociation et l'accélération du
températures élevées est à peine sen-

sible. La loi du refroidissement est représentée par

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,006 \theta + 0,000 034 \theta^2$$

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s = 0,20 \theta + 0,0011 \theta^2$$

Enfin la *fig. 6*, Pl. XIII, se rapporte à l'expérience (23 VI, 3) faite avec le mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'air. Le gaz, qui se refroidissait avait pour composition

$$\begin{aligned} &0,333 \text{ CO}^2 \\ &0,634 \text{ Az} \\ &0,032 \text{ vapeur} \end{aligned}$$

$$\sigma_0 = 65,4 \quad \tau_0 = 273 + 18.$$

La courbe montre une dissociation très nette suivie d'une accélération de vitesse à peine sensible et d'une partie rectiligne qui conduit à la formule de refroidissement

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_v = 0,009 \theta + 0,000 035 \theta^2$$

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_s + 0,34 \theta + 0,00114 \theta^2$$

Chute de pression pour les gaz partiellement ou totalement condensables.

Les gaz qui se condensent par l'abaissement de température suivent naturellement, dans leur refroidissement, une loi différente de celle que suivent les gaz non condensables.

a. — Gaz complètement condensables.

Expression de la vitesse de la chute de pression.
— Nous appelons toujours ω la pression variable du gaz

ION DES MÉLANGES GAZEUX.

τ_0 , la pression qu'exercerait le gaz brûlé l'état gazeux, et sans condensation, à la température τ_0 . Nous cherchons encore la loi de variation $\frac{d\varpi}{dt}$; mais $\frac{d\varpi}{dt}$ ne représentera plus la chute de pression; il ne sera plus proportionnel à l'abaissement de température. On a

$$\frac{\varpi - \varpi'}{\varpi'} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0},$$

la formule représenterait la pression résiduelle du gaz qui existe encore dans le cylindre est parvenue à la pression ϖ et à la température τ on la portait à τ_0 , en la laissant à l'état de saturation à la pression ϖ' , est variable à chaque instant à cause de la condensation qui augmente la masse gazeuse va sans cesse en diminuant. La vitesse d'abaissement de la pression est fonction de la pression ϖ ; nous chercherons la fonction

$$\frac{d\varpi}{dt} = f(\varpi - p_0)$$

qui représentera la pression que le gaz exercerait lorsqu'il est arrivé, dans les conditions initiales, à la température τ_0 . Lorsque le mélange contient des gaz condensables, de la vapeur d'eau, p_0 est la pression de la vapeur qui sature le gaz à τ_0 . Lorsqu'il y a en outre des gaz permanents, p_0 est égal à la somme de la pression de la vapeur d'eau à τ_0 et de celle des gaz permanents à τ_0 .

Si $\varpi - p_0$ pour variable, on satisfait à

cette condition que $\frac{d\varpi}{dt}$ soit égal à zéro lorsque la variable $\varpi - p_0$ a une valeur nulle.

Vapeur d'eau. — Si l'on emploie le procédé général dont nous avons fait usage par les gaz permanents, et si l'on forme les valeurs de $\frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$, on constate que ces valeurs sont presque rigoureusement constantes. On peut donc poser, a étant une constante

$$\frac{1}{\varpi - p_0} \cdot \frac{d\varpi}{dt} = a$$

et par conséquent

$$\frac{d\varpi}{dt} = a (\varpi - p_0).$$

Si l'on trace une ligne ayant pour abscisses $\varpi - p_0$ et pour ordonnées $\frac{d\varpi}{dt}$, cette ligne sera une droite. On va voir en effet, que la loi se vérifie avec une assez grande rigueur.

Expérience (12 VII, 1).

H + O = 71^{cm},1
O en excès 1 ,0 } 3,3 = p₀ τ₀ = 273 + 24 ω₀ = 49,7.
Vapeur de saturation . . 2 ,3 }

TEMPS en vibrations du manomètre. (1)	ω - p ₀ (2)	$\frac{d\omega}{dt}$ (4)	Log(ω - p ₀) (5)	DIFFÉRENCE. (6)	DIFFÉRENCE moyenne. (7)
1	506	"	2,704		
1,5	450	96	653	0,091	
2	410	87	613	92	
3	333	69	521	86	0,0902
4	272	57	435	93	
5	220	47	342	89	
6	179	36	253	83	
7	148	31	170	105	
8	116	25	065	65	0,0830
9	100	20	2,000	97	
10	80	15	1,903	64	
11	69	13	839	99	
12	55	11	740	77	
13	46	9	663	83	0,0784
14	38	7	580	75	
15	32	6	505	58	
16	28	5	447	67	
17	24	4	380	79	
18	20	3,5	301	46	0,0602
19	18	2,5	255	51	
20	16	"	204	58	
21	14	"	146		

La fig. 7, Pl. XIII, montre que la ligne qui représente $\frac{d\omega}{dt}$ en fonction de ω - p₀, est presque exactement une

droite. Cette droite devrait passer par l'origine, puisque $\frac{d\varpi}{dt} = 0$ pour $\varpi - p_0 = 0$. En réalité elle vient rencontrer l'axe des x au point $\varpi - p_0 = 4^{\text{mm}}$. Cette différence est légère, puisqu'une pression de 4 centimètres n'est indiquée sur le graphique que par une distance de 4 à 5 dixièmes de millimètre. Elle n'est d'ailleurs pas explicable par quelque erreur dans la composition du gaz, puisque la chute finale de pression doit être théoriquement de 71 centimètres, et qu'on a observé une chute de 70^{mm},5. La différence ne peut donc être due qu'à une légère variation dans la rapidité de la chute de pression aux basses et aux hautes températures.

On peut déceler cette variation, que le procédé graphique employé ne met pas suffisamment en évidence, en remarquant que si l'on a réellement la relation

$$\frac{d\varpi}{dt} = a (\varpi - p_0)$$

on aura

$$\frac{dt}{\varpi - p_0} = a dt$$

et par une intégration très simple

$$\text{Log} (\varpi - p_0) = Mat + C$$

M étant la base des logarithmes népériens. Si donc on prend les valeurs de $\log (\varpi - p_0)$ pour des intervalles de temps t égaux, la différence de deux logarithmes contigus doit être constante.

Les colonnes (5), (6) et (7) du tableau précédent montrent que $\log (\varpi - p_0)$ ne satisfait pas avec une parfaite rigueur à la formule qui vient d'être écrite, puisque la différence de deux logarithmes consécutifs est en moyenne de

0,0902 de la vibration 1 à la vibration 6

0,0830	—	6	—	11
0,0784	—	11	—	16
0,0602	—	16	—	21.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

te de pression dans l'unité de temps, après s'être ue à peu près constante, jusque vers la vibration , c'est-à-dire jusqu'à ce que la pression se soit de 506 centimètres à 100 ou 80 centimètres, se ensuite d'une manière assez notable.

umé le coefficient a de la formule $\frac{d\varpi}{dt} = a(\varpi - p_0)$, d'être rigoureusement invariable comme semble le la *fig. 7*, Pl. XIII, reste en effet presque constant et $\frac{1,09}{M} = 0,21$ environ (l'unité de temps étant la vi- du manomètre), de $\varpi - p_0 = 506$ centimètres à $= 100$ centimètres. Il décroît ensuite notablement e que $\varpi - p_0$ s'abaisse. Pour les pressions élevées, es nous intéressent dans ce travail, on peut donc a prenant la seconde pour unité de temps

$$\left(\frac{d\varpi}{dt}\right)_s = 6,8 (\varpi - p_0).$$

formule ne s'applique que dans les conditions de nce, c'est-à-dire lorsque la densité de la vapeur ne de la condensation, est définie par la pression 1,7 qu'exercerait cette vapeur si on la refroidis- sans la condenser.

remarque que p_0 est la tension de la vapeur satu- ceinte à la température τ_0 qui est celle de la paroi dre pendant toute l'expérience, on peut interpréter mule en disant que la chute de pression est pro- elle à l'excès de la tension de la vapeur sur celle rmine la condensation sur les parois. C'est cet i est la cause du phénomène de condensation. Le ne est donc ici proportionnel à la cause qui le

lte d'ailleurs clairement de toute cette discussion, xamen de la figure, cette conséquence des plus

importantes, c'est que la vapeur d'eau ne subit aucune modification physique entre les pressions de 506 et de 100 centimètres de mercure. Comme elle n'en subit certainement aucune au-dessous de cette dernière pression, on peut donc dire avec certitude que si une masse de vapeur d'eau, dont la densité au moment de la combustion qui lui a donné naissance est définie par la pression $\varpi = 49,7$, se dissocie au moment de la combustion, cette dissociation a complètement pris fin lorsque la pression est descendue, par le refroidissement et la condensation sur les parois, à 506 centimètres.

Les autres expériences que nous avons faites sur la vapeur d'eau, la pression ϖ_0 restant à peu près la même, donnent des résultats analogues. C'est ainsi que l'expérience (29, VI, 4), dans laquelle $\varpi_0 = 50$ et $\tau_0 = 273 + 24$, donne toujours pour les pressions élevées,

$$a_v = \frac{0.089}{M} = 20,7.$$

L'expérience (2 XI, 1), dans laquelle $\varpi_0 = 48,9$ et $\tau_0 = 273 + 9$ a donné pour a_v un chiffre notablement plus grand, $a_v = 0,24$.

Influence de la densité de la vapeur. — Nous avons vu que la diminution de la densité abaisse considérablement la température à laquelle cesse la dissociation de l'acide carbonique. Il était donc très important d'expérimenter avec de la vapeur d'eau de faible densité, de manière à tâcher de rendre apparente la dissociation, s'il y en a une.

Tel a été le but des expériences suivantes, faites avec des mélanges tonnants d'hydrogène et d'oxygène.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

Expérience (11 XI, 1).

$$\varpi_0 = 25,1 \quad \tau_0 = 273 + 13 \quad p_0 = 1,1.$$

ction $\frac{d\varpi}{dt} = f(\varpi - p_0)$, est encore représentée rigoureusement par une droite; on a donc encore $\frac{d\varpi}{dt} = a(\varpi - p_0)$, mais le coefficient a est é, et l'on trouve

$$a_v = 0,291 \\ a_s = 9,5.$$

dissociation n'apparaît.

tre expérience (15 XI, 2), faite avec le même et la même pression ϖ_0 , a donné $a_v = 0,312$.

Expérience (15 XI, 3).

$$\varpi_0 = 14,8 \quad \tau_0 = 273 + 13 \quad p_0 = 1,1.$$

la dissociation ne se manifeste encore. La ligne est exactement une droite dont le coefficient angulaire est plus grand que celui de l'expérience précédente,

$$a_v = 0,47.$$

Expériences ne montrent donc aucune dissociation de la vapeur d'eau, même lorsqu'on abaisse la densité à $1/4$.

Elles montrent en outre que le coefficient a , qui représente le rapport, à $\varpi - p_0$, de la chute de pression par unité de temps, varie beaucoup avec ϖ_0 , c'est-à-dire avec la densité de la vapeur, puisqu'on a

ϖ_0	a_v observé.	a_v calculé.
50	0,21	0,20
25,1	0,29	0,31
14,8	0,49	0,46

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION.

La variation de α_* avec ϖ_* est représentée d'une manière passable par la formule

$$\alpha_* = 0,09 + \frac{5,5}{\varpi_*}$$

qui donne les résultats calculés contenus dans la colonne du tableau qui précède. En prenant la pour unité de temps, on aurait

$$\alpha_* = 2,95 + \frac{190}{\varpi_*}.$$

Acide chlorhydrique. — Lorsqu'on fait brûler un atome de chlore par un atome d'hydrogène, l'acide chlorhydrique gazeux formé se condense avec une grande rapidité en se dissolvant dans l'eau qui formait une nappe au fond de notre cylindre. On peut étudier la loi de condensation d'un genre spécial. Voici le résultat d'une expérience faite avec le mélange tonnant de chlore et d'hydrogène.

Expérience (23 XII, 1).

Mélange tonnant de Cl et H.

Pression initiale. $h = 43,4$ $\tau_* = 273 + 8$
 $p_* = 3,4.$

On essaie d'abord la formule

$$\frac{d\varpi}{dt} = f(\varpi - p_*).$$

La fig. 8, Pl. XIII, montre la ligne que représente la fonction. Cette ligne est loin d'être droite, comme dans le cas de la vapeur d'eau, et l'on en conclut que la loi de condensation, par dissolution, de l'acide chlorhydrique est différente de celle qui convient à la condensation de la vapeur d'eau.

La ligne qui représente $\frac{1}{\varpi - p_*} \frac{d\varpi}{dt}$ est également une courbe.

On recourt alors à la formule logarithmique que nous avons déjà employée

$$\text{Log } \frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt} = f(\sigma - p_0).$$

La ligne de la *fig. 9*, Pl. XIII, qui représente cette fonction, est presque rigoureusement une droite. La loi de condensation de l'acide chlorhydrique est donc exprimée par la formule

$$\text{Log } \frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt} = a + b(\sigma - p_0)$$

ou

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{a} (\sigma - p_0) e^{\frac{b}{a} (\sigma - p_0)}$$

ou encore

$$\frac{d\sigma}{dt} = a (\sigma - p_0) e^{\beta (\sigma - p_0)}.$$

L'épure donne

$$b = 0,0014 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,0032 \\ \alpha = 1,16.$$

La chute de pression est très rapide; elle l'est cependant beaucoup moins que celle que l'on observe dans le cas de la vapeur d'eau.

Aucune dissociation n'apparaît.

b. Mélanges de gaz condensables et de gaz permanents.

Nous n'avons plus à nous occuper que des mélanges gazeux qui sont en partie seulement condensables. Nous ne pouvons plus nous attendre ici à trouver des lois très simples pour représenter la chute de pression, car cette chute est déterminée par le concours de deux phénomènes très différents, à savoir le refroidissement du gaz permanent et la condensation du gaz condensable. Nous donne-

rons cependant les formules auxquelles nous sommes arrivés dans les différents cas, non seulement parce qu'elles nous seront utiles dans la suite, mais encore parce qu'elles peuvent être utiles dans certaines applications.

Mélanges formés par la vapeur d'eau, l'azote ou de l'oxygène. — Lorsqu'on mélange des gaz condensables et des gaz permanents, la pression n'est pas représentée par la formule à d

$$\frac{d\sigma}{dt} = a(\sigma - p_0) + b(\sigma - p_0)^2$$

qui convient à l'acide carbonique et aux gaz permanents. On peut s'en convaincre en traçant pour divers mélanges la ligne représentative de la fonction $\frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt}$, qui est très loin d'être droite.

Lorsque les gaz ajoutés à la vapeur d'eau sont l'azote ou l'oxygène, on satisfait très bien aux observations de la formule déjà employée à diverses repr

$$\text{Log} \left(\frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt} \right) = a + b(\sigma - p_0).$$

Nous ne donnerons qu'un exemple.

La fig. 1, Pl. XIV, s'applique au mélange de vapeur d'eau + 2'0. La ligne courbe y représente $\frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt}$ et la ligne droite, $\log \left(\frac{1}{\sigma - p_0} \frac{d\sigma}{dt} \right)$, en fonction de $\sigma - p_0$.

Le tableau suivant montre les valeurs de a

$\beta = \frac{b}{M}$ que nous avons calculées pour un certain nombre de mélanges de vapeur d'eau et d'oxygène ou d'azote.

	H ² O	O	Az	ϖ_0	α	β
29 X, 7	1,04	1,50	"	61,1	0,21	0,0054
17 VII, 3	1,09	1,45	"	61	0,27	0,0050
29 X, 2	1,06	2,94	"	65	0,13	0,0073
19 VI, 1	1,10	0,33	3,07	68	0,19	0,0061
17 VI, 2	1,09	0,29	2,62	68	0,17	0,0068
24 X, 2	1,07	0,12	2,78	65	0,19	0,0058
26 X, 1	1,08	0,26	2,86	52,4	0,20	0,0077
26 X, 2	1,12	0,22	2,77	34,1	0,22	0,0124
26 X, 3	1,25	0,29	2,89	17,7	0,32	0,0230
17 VI, 4	1,10	0,41	3,14	68,5	0,19	0,0065
25 X, 2	1,12	0,83	5,02	68,3	0,18	0,0053
25 X, 6	1,12	1,10	5,98	68,8	0,31	0,0052

La loi des variations des coefficients α et β n'est pas aisée à démêler. Lorsque la pression ϖ_0 ne varie que dans de faibles limites le coefficient β varie peu. Lorsque ϖ_0 diminue beaucoup, sans que la composition du mélange subisse de fortes variations, le coefficient β subit une augmentation considérable, comme le montrent les expériences 26 X, 1, 2, 3 faites avec un mélange tenant, à l'origine du refroidissement, environ 3 de gaz permanents pour 1 de vapeur d'eau. On tirerait de ces 3 expériences

$$\beta_n = \frac{0,41}{\varpi_0}$$

qui donnerait

$$\begin{aligned} \text{pour 26 X, 1 } \beta_n &= 0,0078 \\ \text{26 X, 2 } &0,0012 \\ \text{26 X, 3 } &0,0023 \end{aligned}$$

Mélanges formés par la vapeur d'eau et l'hydrogène. — Les lois de la chute de pression ne restent pas les mêmes lorsqu'à l'oxygène ou l'azote on substitue un gaz beaucoup plus conducteur pour la chaleur, tel que l'hydrogène.

Dans ce cas, la loi de l'abaissement de la pression est de la même forme que celle que nous avons établie dans le cas de l'acide carbonique seul. On peut alors poser

$$\frac{d\varpi}{dt} = a (\varpi - p_0) + b (\varpi - p_0)^2,$$

et par conséquent $\frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en fonction de $\varpi - p_0$ représente une droite. C'est ce que montre la ligne de la *fig. 2*, Pl. XIV, s'appliquant à l'expérience (12 VII, 2) dans laquelle on avait les données suivantes :

Expérience (12 VII, 2)

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}^2\text{O} \ 1,06 \\ \text{H} \ 0,634 \end{array} \right\} \varpi_0 = 55,8 \quad \tau_0 = 273 + 24$$

Les coefficients a et b qui se tirent de cette figure sont

$$a = 0,023 \quad b = 0,00058$$

Lorsqu'on augmente la proportion d'hydrogène, le coefficient a diminue, mais le coefficient b augmente ; c'est ce qui résulte des nombres trouvés pour l'expérience suivante :

Expérience (29 X, 1)

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}^2\text{O} \ 1,06 \\ \text{H} \ 3,10 \end{array} \right\} \varpi_0 = 65,2 \quad \tau_0 = 273 + 12$$

$$a = 0,006 \quad b = 0,00074.$$

Lorsqu'on fait brûler des mélanges d'hydrogène et d'air avec excès d'hydrogène, c'est la loi des mélanges avec azote qui l'emporte. On peut s'en convaincre par l'examen de la *fig. 3*, Pl. XIV, qui montre la ligne représentative de

$\frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en fonction de $\varpi - p_0$ pour l'expérience (24 X, 3) dans laquelle on avait

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}^2\text{O} \ 1,07 \\ \text{Az} \ 1,87 \\ \text{H} \ 1,13 \end{array} \right\} \varpi_0 = 65,2 \quad \tau_0 = 273 + 12.$$

Cette ligne est manifestement courbe, tandis que celle qui représente $\log \frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en fonction de $\varpi - p_0$ est une droite, comme le montre la *fig. 4*, Pl. XIV.

Voici, pour les mélanges renfermant de l'hydrogène et de l'azote, les résultats que nous tirons de nos expériences :

DATES.	H ² O	Δt.	H.	ω ₀	α	β
24 X, 3	1,07	1,87	1,13	66,2	0,29	0,0058
25 X, 1	1,10	1,93	2,67	67,5	0,25	0,0062
24 X, 6	1,10	1,88	3,43	67,7	0,28	0,0061
25 X, 4	1,12	2,00	4,24	68,2	0,30	0,0055

On voit que les coefficients α et β varient assez peu avec la quantité d'hydrogène.

Notre formule empirique ne représente pas d'ailleurs le phénomène avec une parfaite rigueur, pas plus que la formule $\frac{1}{\varpi - \varpi_0} \frac{d\varpi}{dt} = a (\varpi - \varpi_0) + b (\varpi - \varpi_0)^2$ ne représentait rigoureusement, dans toute l'étendue de l'échelle des températures, le phénomène du refroidissement des mélanges formés d'acide carbonique et de gaz permanents. C'est ce que l'on constate aisément en examinant les figures qui représentent $\log \frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en fonction de $\varpi - p_0$, pour des mélanges contenant une forte proportion de gaz permanents, c'est-à-dire supérieure à 2' pour 1' de vapeur. On constate que, pour de fortes pressions, la chute de pression est un peu plus rapide que ne l'exigerait la loi

$$\log \frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt} = a + b (\varpi - p_0).$$

Mélanges formés par la vapeur d'eau et l'acide carbonique. — Nous avons aussi expérimenté sur les mélanges de vapeur d'eau et d'acide carbonique.

1° *Expérience* (27 X, 3)Volumes égaux des mélanges tonnants $\text{CO} + \text{O}$ et $\text{H}^2 + \text{O}$.

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}^2\text{O} \ 1,05 \\ \text{CO} \ 1 \\ \text{O} \ 0,08 \end{array} \right\} \varpi_0 = 48,2 \quad \tau_0 = 273 + 12.$$

La *fig. 6*, Pl. XIV, montre la ligne représentative de $\frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en fonction de $\varpi - p_0$. La dissociation de l'acide carbonique se montre très énergique jusqu'à la pression $\varpi - p_0 = 290^{\text{cm}}$ environ. Au-dessous, la chute de pression suit une loi de même forme que pour l'acide carbonique seul,

$$\frac{d\varpi}{dt} = a (\varpi - p_0) + b (\varpi - p_0)^2.$$

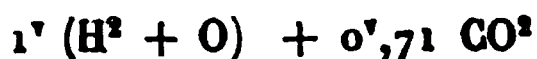
On a

$$a_v = 0,014 \quad b_v = 0,00028$$

l'unité de temps étant la vibration du manomètre, soit

$$a_s = 0,46 \quad b_s = 0,0092$$

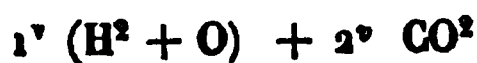
avec la seconde pour unité.

Expérience (29 X, 6) (*fig. 5*, Pl. XIV)

$$\left. \begin{array}{l} 1',04 \text{ H}^2\text{O} \\ 1 \text{ CO}^2 \end{array} \right\} \varpi_0 = 49,1 \quad \tau_0 = 273 + 12.$$

Pas de dissociation manifestée à partir de la vibration 1 pour laquelle on a $\varpi - p_0 = 329^{\text{cm}}$. La chute de pression suit la loi représentée par la formule à deux termes, dont les coefficients sont

$$a_v = 0,004 \quad b_v = 0,00050$$

Expérience (8 XII, 1)

$$\left. \begin{array}{l} 1',06 \text{ H}^2\text{O} \\ 3,14 \text{ CO}^2 \end{array} \right\} \varpi_0 = 67,7 \quad \tau_0 = 273 + 12.$$

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

de dissociation indiquée. La chute de pression suit la loi à deux termes pour laquelle on a

$$a_0 = 0,004 \quad b_0 = 0,00017$$

mélanges formés par la combustion du grisou. —
mélanges formés par la combustion du grisou doivent
consister de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone quel-
ques, peut-être une certaine quantité d'hydrogène, en-
fin l'azote en grand excès quand le gaz comburant est

Expérience (13 VII, 1)

Mélange tonnant de grisou et d'oxygène pour la combustion
à l'état d'acide carbonique.

$$\begin{array}{l} \text{Composition du mélange} \\ \text{avant la combustion.} \end{array} \left\{ \begin{array}{ll} \text{CH}_4 & 19,35 \\ \text{O} & 24,7 \\ \text{CH}_4 \text{ en excès} & 1,05 \\ \text{Vap.} & 2,3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \sigma_0 = 40,8 \\ \tau_0 = 273 + 21 \end{array}$$

Après contraction, après refroidissement, au lieu d'être de
pression est égale à 20,9. La combustion ne s'est donc pas
complète entièrement pour acide carbonique.

La ligne (fig 7, Pl. XIV) qui représente $\frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt}$ en
fonction de $\varpi - p_0$, accuse, à la façon ordinaire, une dis-
sociation de CO qui ne cesse qu'à partir de $\varpi - p_0 = 225$.
En dessous de cette pression, le refroidissement est correc-
tement représenté par la formule à deux termes dans la-
quelle

$$a_0 = 0,010, \quad b_0 = 0,0052$$

Expérience (11 VI, 2)

$$\text{Mélange tonnant de grisou et d'air.} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_0 = 76 \\ \tau_0 = 273 + 15 \end{array} \right.$$

Il n'y a pas de dissociation d'acide carbonique accusée;
la courbe de refroidissement est correctement représentée

par la formule

$$a_v = 0,04 \quad b_v = 0,00218.$$

ÉTUDE DE LA DISSOCIATION.

Nous avons vu de quelle façon nos courbes de refroidissement permettent de constater l'existence d'une dissociation, et même de voir dans certains cas, jusqu'à quelle température elle fait sentir son effet. Nous allons résumer ici les données que nos observations nous ont permis de réunir sur cet important sujet.

a. *Dissociation de l'acide carbonique.*

Température à laquelle cesse la dissociation.
On peut connaître la température à laquelle cesse la dissociation au moyen des lignes représentant $\frac{1}{\varpi - \varpi_0}$. La partie de ces lignes qui correspond au refroidissement régulier est une ligne droite d'un certain coefficient angulaire; la partie qui correspond au refroidissement ralenti par la combinaison des gaz dissociés est une droite d'un coefficient angulaire très différent. L'intersection de ces deux droites donne le point où commence la dissociation et où finit l'autre. L'abscisse de ce point est la valeur correspondante de $\varpi - \varpi_0$, et la formule

$$\frac{\varpi - \varpi_0}{\varpi_0} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_0}$$

donne $\tau - \tau_0$ très peu différent de la température θ cherchée. On a résumé dans le tableau suivant les données par ce procédé nous avons pu tirer de nos expériences.

1° *Mélange tonnant* $\text{CO} + \text{O}$.

Dates.	ϖ_0	Température à laquelle cesse la dissociation.
30 VI, 2	52	1810°
4 XI, 2	49	1820°
13 VII, 2	28,3	1610
5 XI, 1	13,3	1160

2° *Mélanges* $\frac{2}{3} (\text{CO} + \text{O}) + m \text{CO}^2$.

Dates.	m	ϖ_0	Température de dissociation finissante.
13 VII, 3	0,09	52,3	1820°
9 VI, 1	0,31	57,8	1730
8 VI, 2	0,49	60	1760
1 ^{er} VII, 3	0,96	60	> 1760

3° *Mélanges* $\frac{2}{3} (\text{CO} + \text{O}) + m \text{O}$.

1 ^{er} VII, 7	0,457	52,8	1520
27 X, 1	0,741	57	1550
1 ^{er} VII, 6	1,76	59,5	> 1800
27 X, 2	2,98	65,1	> 1700

4° *Mélanges* $\frac{1}{3} \text{CO}^2 + m \text{CO}$.

28 X, 1	0,768	57,1	1760
1 ^{er} VII, 5	0,915	56	1770
1 ^{er} VII, 4	0,932	56	1770
28 X, 2	2,89	64,9	> 1700°

3° *Mélanges* $\frac{1}{3} \text{CO}^2 + m \text{Az et O}$.

23 VI, 3	1,91	65,4	1560
26 X, 4	2,52	64,3	> 1800
28 X, 2	2,89	65	> 1700
14 VII, 2	4,24	73	1770° mélange de Cy et air brûlant pour CO^2 .

La première chose qui frappe les yeux en examinant ce tableau, c'est la très notable influence qu'exerce la densité du gaz, mesurée par la pression ϖ_0 . A mesure que la densité diminue, la température à laquelle cesse la dissociation va

en décroissant. Lorsque ω_0 est égal à 50^{mm} , cette température est égale à 1800° environ; la température à 1600° quand $\omega_0 = 28^{\text{mm}},3$ et à 1200° quand ω_0 .

Les expériences sont trop peu nombreuses pour puisse établir une relation mathématique entre température de dissociation nulle, mais il semble de ces trois nombres que le rapport de la décroissance de la température à celle de ω_0 , d'abord faible au début, de $\omega_0 = 50^{\text{mm}}$, s'accélère beaucoup dans le voisinage de $\omega_0 = 13,3$.

Quand on ajoute de l'oxygène à l'acide carbonique, la température de dissociation finissante diminue. Le volume de l'oxygène ne dépasse pas celui de l'acide carbonique. Lorsque le volume de l'oxygène est supérieur à celui de l'acide carbonique, cette température semble devenir égale, sinon supérieure, à celle qui est obtenue avec l'acide carbonique seul.

L'addition de l'oxyde de carbone à l'acide carbonique a beaucoup moins d'influence que celle de l'oxygène. On s'explique cette différence, car l'oxyde de carbone est un des produits de la dissociation de l'acide carbonique et tend lui-même à se dissocier en carbone et en oxygène.

Au contraire l'addition de l'azote paraît tendre à augmenter la température de nulle dissociation d'une manière plus énergique que l'oxygène, puisqu'avec l'azote pur, $1',91$ d'azote, cette température est abaissée à 1200° tandis que l'addition de $1',76$ d'oxygène ne produit aucun effet marqué. Cependant, avec l'oxygène combiné avec l'azote, l'abaissement de la température de nulle dissociation devient nul ou insensible, lorsque le volume de l'azote devient grand, c'est-à-dire égal ou supérieur à celui de l'oxygène.

Les expériences faites avec des mélanges d'acide carbonique et de vapeur d'eau, accusent une dissociation marquée de l'acide carbonique lorsqu'il y a volu-

des deux gaz. Mais on ne peut plus, dans ce cas, assigner la température à laquelle la dissociation cesse, car, la vapeur d'eau se condensant d'une manière continue pendant l'opération, il est impossible de connaître la température à laquelle correspond, à un moment donné, la pression du gaz intérieur.

Il est important de remarquer que les températures dont nous parlons ici, sont toujours les températures moyennes du gaz dans le cylindre, et nous avons dit plus haut que ces températures peuvent différer assez notablement des températures réelles dans les diverses parties de la masse. Vers la fin de la dissociation, la partie du gaz dissocié qui est en voie de recombinaison, est au centre de la masse et possède une température supérieure à la moyenne. Les chiffres que nous indiquons comme correspondant à la température de nulle dissociation ou de recombinaison complète sont donc en réalité trop faibles.

b. *Dissociation de l'oxyde de carbone.*

On admet que la dissociation de l'oxyde de carbone donne du carbone et de l'acide carbonique, suivant l'équation



Si le carbone se condense à l'état de particules solides en suspension, il y a contraction de 4 vol. en 2. Si le carbone reste à l'état de vapeur il y a condensation de 4 vol. en 3.

D'ailleurs la quantité de chaleur Q produite par la décomposition de l'oxyde de carbone et la combustion de la moitié du carbone pour acide carbonique est

$$Q = -52 + 94 = -42.$$

La dissociation de l'oxyde de carbone dégagerait ainsi

une quantité considérable de chaleur, tandis que la dissociation de l'acide carbonique en *absorbe*. Inversement la recombinaison des éléments de l'oxyde de carbone absorberait de la chaleur, et par conséquent tendrait à refroidir le gaz. La vitesse de refroidissement que provoque cette recombinaison en serait donc augmentée, et c'est par une accélération de la vitesse de refroidissement que devrait se traduire, dans nos expériences, la dissociation de l'oxyde de carbone. Il est vrai que l'effet produit serait affaibli par l'expansion qui accompagne la recombinaison, et qui a, sur nos courbes, la même influence qu'une augmentation de température.

Nous avons déjà vu que les courbes de refroidissement des mélanges contenant de l'oxyde de carbone indiquent, pour les températures inférieures, une loi de refroidissement analogue à celle qui se manifeste avec les gaz simples et avec l'acide carbonique seul, tandis qu'aux températures élevées, la vitesse de refroidissement présente une accélération assez notable. Il serait naturel de penser que cette particularité indique la dissociation de l'oxyde de carbone et sa reconstitution sous l'influence du refroidissement. Toutefois plusieurs objections se présentent.

D'une part les produits gazeux qui proviennent de la combustion du cyanogène dans l'air pour CO, ne montrent pas cette accélération, bien que la partie extrême de nos courbes atteigne, dans ce cas, la température de 2000° environ.

D'autre part les gaz simples, azote et oxygène, présentent un phénomène analogue, mais beaucoup moins accusé, à celui que montre l'oxyde de carbone. Or il est difficile d'imaginer, pour ces gaz, un mode de dissociation dont la nature soit telle que la recombinaison *absorbe* de la chaleur. La transformation de l'oxygène en ozone, à laquelle on pourrait songer et dont la formation a même été constatée dans l'acte de la combustion, absorbe de la chaleur et par

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

quent la recombinaison de l'oxygène en dégage. L'accélération constatée pour les gaz simples et l'oxyde de carbone ne paraît donc pas tenir à un changement physique. Elle doit sans doute être attribuée simplement à ce que la loi de refroidissement admise ne s'applique plus à des températures suffisamment élevées. Il faut en effet, pour rendre compte des faits, d'ajouter terme en θ^2 à la formule

$$\frac{d\theta}{dt} = a\theta + b\theta^2.$$

Il faut d'ailleurs remarquer qu'on est loin d'être fixé sur les circonstances qui accompagnent la dissociation de l'oxyde de carbone. Nous avons supposé que le phénomène avait lieu à du carbone solide, mais il serait peut-être plus rationnel d'admettre que le carbone reste, au moins à l'intérieur de la masse, à l'état de vapeur. Dans ce cas il y aurait une contraction de 4 vol. en 3 vol. D'autre part M. Berthelot pense que la dissociation de l'oxyde en $C + CO^2$ peut n'être accompagnée d'aucune variation calorifique ou seulement d'une variation faible, lorsque le carbone reste à l'état gazeux. On observe en effet que Fe^2O^3 et Fe^3O^4 par exemple absorbent, pour leur formation à partir du fer, une quantité de chaleur à peu près égale. Si en était ainsi, il est clair que nos courbes de refroidissement pourraient ne pas indiquer le phénomène de la dissociation, même s'il avait lieu, puisque celui-ci pourrait produire aucune influence sensible sur la chute de température.

6. *Dissociation de la vapeur d'eau.*

avec le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, et les mélanges très nombreux formés par ce mélange.

tonnant additionné d'oxygène, d'hydrogène ou d'azote, nous n'avons pu constater aucun phénomène qui puisse faire soupçonner une dissociation quelconque de la vapeur d'eau.

Pour le mélange tonnant, la loi de la condensation est très simple ; or elle se poursuit exactement jusqu'à la première vibration, au delà de laquelle nous ne pouvons plus la suivre. Il est vrai que la variation de pression qui se produit entre le moment de la pression maxima et celui du minimum de la vibration 1, (la première pression que nous puissions mesurer), est assez grande ; pour l'expérience (12 VII, I) par exemple, la vibration 1 correspond à une pression égale à 509, tandis que la pression maxima développée par la combustion est égale à 833. La dissociation pourrait évidemment se placer entre ces deux pressions 509 et 633.

Mais on peut exagérer la dissociation, si elle existe, et la faire commencer à des températures ou des pressions plus basses, en diminuant la densité. Nous avons vu avec quelle netteté se manifeste cette influence lorsqu'il s'agit de l'acide carbonique. Or le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, même en réduisant sa densité au quart (Exp. 15 XI, 3), ne montre encore aucune dissociation. Nous admettons donc que la dissociation de la vapeur d'eau est négligeable encore à la température de combustion du mélange tonnant. Ceci n'est d'ailleurs démontré que dans les conditions de nos expériences.

a. Dissociation de l'acide chlorhydrique.

L'acide chlorhydrique pur, préparé par la combustion du mélange tonnant, ne montre, dans la marche très rapide de sa condensation, aucune apparence de dissociation, ainsi qu'on peut le voir par l'examen des courbes *fig. 8 et 9, Pl. XIII*. Toutefois, on ne peut pas affirmer que

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

tion n'existe pas, car entre le commencement de la
n et le premier point que nous pouvons mesurer,
n passe de 398° à 283° , perdant ainsi près
de sa valeur. Dans cet intervalle, la dissociation
roduire et prendre fin.

ssayer de décider la question, nous avons formé
iges dans lesquels la dissociation, si elle existe,
ster jusqu'à des températures plus basses. Tels
élanges contenant un excès d'hydrogène.

icun des mélanges que nous avons formés en
des quantités constantes d'hydrogène au mé-
iant n'a montré aucune trace de dissociation.

en concluons pas cependant que la dissociation
chlorhydrique est nulle à la température de
n, mais simplement qu'elle prend fin, si elle se
avant le moment où nous pouvons mesurer la
ntérieure. Nous verrons plus loin que l'étude des
spécifiques conduit à admettre en réalité une
n notable de ce gaz.

1. ÉTUDE DE LA PÉRIODE DE LA PROPAGATION.

cas que présente la propagation de l'inflam-
ans le cylindre. — Nous avons maintenant à
étude de la période pendant laquelle la combus-
page dans le cylindre, ou plutôt l'étude de la
nos courbes de refroidissement qui précède le
oint pour lequel la mesure de la pression est

nier et rapide examen suffit à montrer qu'il faut
deux cas extrêmes.

nier est celui où la combustion se propage avec
me rapidité et où la propagation a pris fin au

bout d'un temps court relativement à la durée d'une vibration manométrique. Dans ce cas, la courbe tracée par le style se détache presque subitement de la génératrice du cylindre que parcourait le style avant la combustion (V. *fig. 5*, Pl. XV). Quelquefois même, comme dans le cas des mélanges d'hydrogène et d'oxygène, ou de ce gaz et d'acide chlorhydrique, l'aiguille du style, choquée brusquement et avec une extrême énergie à sa base, s'écarte de ce centre de sorte que le style est projeté du côté des pressions descendantes, et fait une sorte de crochet pour reprendre sa marche normale. C'est ce que montre la *fig. 6*, Pl. XV, qui se rapporte à la combustion du mélange tonnant de H et O sous une pression initiale égale à 7 (*2* XI, 1), et la *fig. 7*, Pl. XV qui se rapporte à la combustion du même mélange tonnant sous une pression initiale égale à 37^{mm},5 (11 XI, 1).

Le second cas est celui où la propagation marche avec une assez grande lenteur pour que la pression manométrique ne soit établie qu'au bout d'un temps qui comprend une ou même plusieurs vibrations manométriques. La *fig. 8*, Pl. XV, relative au cyanogène brûlant dans l'air pur en est un exemple. La propagation dure, dans cette expérience, un temps égal à 3 vibrations environ soit 0^s,06.

Mais on peut avoir des durées de propagation bien plus longues encore. Tel est, par exemple, le cas de la combustion du mélange 1' (CO + O) + 1',33 CO² (Ex VII, 1), auquel se rapporte la *fig. 8*, Pl. XV.

*Durée de la propagation de l'inflammation
dans le cylindre.*

Ce dernier cas se prête aisément à l'étude du mode de propagation de la flamme.

On peut d'abord chercher quelle est la vitesse de propagation, c'est-à-dire quel est le temps employé par la flamme à aller du centre du cylindre jusqu'à la courbe d'intersection du fond plat avec les parois cylindriques. Notre cylindre ayant une hauteur et un diamètre de 0,17, la distance à parcourir par la flamme est de 0^m,12. Le temps mis par la flamme à accomplir ce trajet est aisé à obtenir, car il est celui qui s'écoule entre le commencement de l'inflammation et le moment où la pression *maxima* est obtenue. Ces deux points se marquent très nettement sur nos courbes. L'un est le point où la courbe du style se détache de la génératrice qui correspond à sa position initiale; l'autre est le point que marque d'ordinaire l'élongation *maxima* de la première vibration; c'est celui que nous avons presque toujours noté 0,5.

En mesurant sur nos courbes la distance qui sépare ces deux points, nous avons pu former les tableaux suivants :

1° Mélanges formés avec le grisou.

NUMÉROS.	DATES.	QUANTITÉ de grisou pour 1 vol. d'air.	PRESSION initiale <i>h</i>	DURÉE totale de la propagation <i>D_p</i>	DURÉE de la propagation sans refroidisse- ment <i>D_c</i>
2	11 VI, 4	0,073	76	5,60	3,30
3	11 VI, 3	0,087	76	4,04	1,99
4	11 VI, 9	0,101	76	1,96	0,98
5	2 VII, 3	0,105	74,4	1,83	0,73
6	11 III, 1	0,109	76	1,48	0,64
7	11 VI, 2	0,111	76	1,85	0,55
8	11 VI, 8	0,119	76	2,02	1,02
9	11 VI, 5	0,126	76	2,45	1,66
10	11 VI, 6	0,143	76	4,22	2,02

La *fig. 1*, Pl. XV, montre la loi qui lie la *durée* de propagation à la proportion de grisou. Le minimum de la durée correspond à la proportion de 0,098 de grisou, soit

presque exactement à la proportion pour laquelle l'air contient assez d'oxygène pour brûler le grisou en air et acide carbonique.

De part et d'autre de ce point, la durée de prorogation varie à peu près proportionnellement à la proportion de grisou.

Si l'on compare les résultats très concordants donnés par le tableau et reproduits graphiquement par les courbes avec ceux des expériences faites sur la propagation à l'air libre et mentionnées dans notre second mémoire, on voit qu'ils diffèrent beaucoup entre eux.

D'abord la vitesse de propagation dans notre cylindre est beaucoup plus considérable puisque, pour 0,08 de grisou, la vitesse est de 0,94 environ dans le cylindre, tandis que nous avons trouvé 0,23 seulement à l'air libre.

Pour une proportion de 0,098 on a une vitesse de 2,65 dans le cylindre, de 0,20 à l'air libre.

En outre, le maximum de vitesse qui correspond à l'air libre à une proportion de 0,12 de grisou, correspond dans le cylindre à une proportion de 0,098, qui est très voisine de la proportion théorique. Ces différences s'expliquent sans doute par les conditions très différentes dans lesquelles s'effectue la propagation. A l'air libre, la flamme rencontre toujours le mélange non enflammé à la même pression, tandis que dans le cylindre, le gaz va en se comprimant à mesure que la flamme avance dans sa marche. Nous verrons d'ailleurs tout à l'heure que la vitesse de propagation ne reste pas, dans le cylindre, identique à elle-même depuis le commencement jusqu'à la fin de la propagation. Les nombres inscrits dans notre tableau sont donc comparables entre eux, mais ils ne seraient plus les mêmes si la grandeur du cylindre, et peut-être aussi sa forme, venait à varier.

2° Mélanges $\text{CO} + \text{O} + p\text{CO}^2$.

NUMÉROS.	DATES.	VOLUME de CO^2 ajouté à 1 vol. ($\text{CO} + \text{O}$)	PRESSION initiale Δ	DURÉE totale de la propagation D_p ⁽¹⁾
1	8 V, 2	0,49	77,1	1,30
2	6 V, 1	0,91	75,9	4,12
3	1 VII, 3	0,96	72,0	4,36
4	27 VI, 6	0,96	74,0	3,94
5	1 VII, 2	1,13	68,3	4,61
6	8 V, 1	1,17	40,2	2,55
7	1 VII, 1	1,40	71,5	7,75
8	8 V, 3	1,49	77,1	12,00

⁽¹⁾ L'unité de temps est la durée de la vibration du manomètre qui est égale à 0",0206.

La *fig. 3*, Pl. XV, montre la loi de variation de la durée de propagation avec la proportion de CO^2 ajouté au mélange tonnant.

L'expérience du (8 V, 1) semble montrer que la vitesse de propagation croît lorsque la densité du mélange gazeux décroît. Les expériences ne sont pas assez nombreuses pour montrer la loi de cet accroissement. D'après notre unique observation, la variation serait presque en raison inverse de la densité.

3° CO + O et gaz parfaits.

N°	DATES.	GAZ AJOUTÉS A 1° (CO + O).				PRESSION initiale. h.	DURÉE totale de la propaga- tion. D _p	DURÉE de la propa- gation sans refroidis- sment. D _s (1)
		Total des gaz ajoutés.	CO	C	Az			
1	1 VII, 7	0,305		0,305		70,3		0',16
2	27 X, 1	0,492		0,492		73,1		0',32
3	28 X, 1	0,512	0,512			73,1		0',22
4	1 VII, 5	0,565	0,565			70,6		0',18
5	1 VII, 4	0,635	0,635			70,0		0',18
6	1 VII, 6	1,17		1,17		70,0		0',53
7	23 VI, 3	1,27			1,27	76,4	1,03	0',62
8	26 X, 4	1,67		0,09	1,58	73,1	2,10	1',26
9	28 X, 2	1,93	1,93			73,0	1,10	0',66
10	27 X, 2	1,99		1,99		73,1	4,2	2',2
11	26 X, 2	2,01		0,15	1,86	73,1	4,14	2',08
12	26 X, 1	2,04		0,38	1,66	73,2	4,60	2',10
13	23 VI, 2	2,67		0,29	2,38	76,4	7,5	4',1

(1) Les valeurs de D_s sont déduites d'un procédé de mesure dont le principe sera exposé plus loin.

Ce tableau montre :

1° Que l'influence de l'azote et de l'oxygène sur la facilité de propagation est à peu près la même, malgré la diversité d'action chimique que pourraient exercer ces deux éléments. Nous avons vu qu'au point de vue de la dissociation, ces deux éléments exerçaient aussi des actions presque identiques.

2° Que, par contre, l'influence de l'oxyde de carbone est très dissemblable à celle des deux autres gaz. Ce gaz retarde beaucoup moins la propagation, comme il résulte de la comparaison des nombres suivants.

(28 X, 2)	CO + O + 3CO	vit. moy. de propagation	3,75
(27 X, 2)	CO + O + 3O ²	—	0,94
(26 X, 2)	CO + O + 3Az ²	—	0,95

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

On compare ces nombres à ceux du précédent on voit en outre que l'acide carbonique retarde la propagation bien plus encore que ne le font les gaz simples Az, car on a

- 1) 1^r (CO + O) + $1^r,13$ CO² vit. moy. de propagation 0,85
 2) 1^r (CO + O) + $1^r,17$ O — 2,8

La différence considérable ne paraît pas tenir à la différence de conductibilité pour la chaleur qui est seulement un peu moindre pour l'acide carbonique. Il est vraisemblable qu'elle tient à la différence des chaleurs spécifiques à hautes températures, comme cela résulte de nos expériences, est près de deux fois plus grande pour l'acide carbonique que pour les gaz parfaits.

4° Mélanges formés avec le cyanogène.

NOS.	COMPOSITION rapportée à 1 ^{re} de C ² Az ²	PRESSION initiale.	DURÉE totale de la propagation D _p	DURÉE de la propagation sans refroidissement. D _s	
III, 1	O 1 ^{re} ,00	20,1	0	0	Combustion avec O pour CO.
III, 2	O 1 ^{re} ,95 Az 7 ^{re} ,83	73,1	2,50	1,28	Combustion avec l'air pour CO ² .
III, 3	O 1 ^{re} ,01 Az 3 ^{re} ,80	63,2	2,75	1,53	Combustion avec l'air pour CO.
III, 4	O 1 ^{re} ,08 Az 3 ^{re} ,68	68,5	2,80	1,56	

5° Mélange formé avec le sulfure de carbone.

III, 5	CS ² 1 Air hum. } 1,46	70,1	1,3		
--------	--------------------------------------	------	-----	--	--

Etude de la vitesse de propagation des mélanges tonnants du cyanogène avec l'air, soit qu'ils brûlent pour CO, soit qu'ils

brûlent pour CO^2 , est peu différente. Les températures de combustion sont en effet presque les mêmes, 2.500° dans un cas, 2.600° dans l'autre. (V. plus bas.)

6° Mélanges formés avec l'hydrogène (fig. 4, Pl. XV).

NUMÉROS.	DATES.	QUANTITÉ de gaz ajoutée à 1 vol. (CO + O)	λ	DURÉE totale de la propagation D_p	DURÉE de la propagation sans refroidis- sement D_s
1° Mélanges avec Az et O.					
1	29 XI, 7	0,99	73,1	0	0
2	29 X, 2	2,00	73,0	"	0,08
3	18 VI, 2	1,94	75,7	"	0,30
4	24 X, 2	2,00	73,2	"	0,15
5	26 X, 1	2,10	58,6	"	0,17
6	26 X, 2	2,07	38,4	"	0,18
7	26 X, 3	2,05	19,7	"	0,36
8	19 VI, 1	2,27	75,6	"	0,27
9	17 VI, 4	2,37	76,0	"	0,24
10	25 X, 4	3,00	72,8	"	0,30
11	24 X, 7	3,36	73,0	"	0,64
12	25 X, 3	3,90	73,2	1,05	0,63
13	25 X, 6	4,71	73,0	2,94	1,77
2° Mélanges avec H en excès.					
14	24 X, 3	2° { H 0,75 Az 1,25	73,2	0	0
15	25 X, 1	3,04 { H 1,76 Az 1,28	73,2	"	0,14
16	24 X, 6	3,53 { H 2,28 Az 1,25	73,1	"	0,18
17	25 X, 4	4,17 { H 2,84 Az 1,33	73,3	"	0,30
3° Mélanges avec CO^2 .					
18	29 X, 6	0,67	61	"	0,09
19	2 XI, 2	1,52	72,8	1,10	0,66
20	8 XII, 1	2,07	76,0	3,97	1,79

On voit la grande différence qui existe entre la vitesse de propagation des mélanges formés par CO et O et celle

des mélanges contenant H et O. Cette différence, d'ailleurs bien connue, ressortait déjà de nos expériences sur la vitesse de propagation dans un tube.

La grande conductibilité de l'hydrogène s'accuse par la grande rapidité qu'elle imprime à la propagation dans les mélanges où ce gaz intervient.

Les expériences 4, 5, 6 et 7 corroborent le fait, signalé précédemment, de l'augmentation de vitesse de propagation, toutes choses égales, avec la diminution de densité.

7° Mélanges formés avec le gaz d'éclairage (fig. 2, Pl. XV).

NUMÉROS.	DATES.	QUANTITÉ DE GAZ pour 1 vol. d'air humide.	DURÉE TOTALE de la propagation. D_p
1	10 III, 7	0,105	1,90
2	10 III, 6	0,108	1,80
3	9 VI, 1	0,170	1,50
4	8 III, 1	0,170	1,30
5	9 VI, 2	0,197	1,70
6	9 III, 10	0,210	1,05

Le maximum de la vitesse de propagation est obtenu pour le mélange contenant 0,17 de gaz pour 1^r d'air; c'est le résultat que nous avons trouvé par un autre procédé. (V. le second mémoire, p. 326.)

Mode de propagation de l'inflammation dans le cylindre.

Nous pouvons maintenant aller plus loin et examiner quelle est la loi que suit la propagation de l'inflammation dans notre cylindre.

Pour cela nous avons mesuré, à des intervalles équidistants suffisamment rapprochés, les ordonnées de la courbe qui correspond à la période de propagation.

Ces ordonnées ne représentent pas la pression qu

s'exerce, à l'instant correspondant, dans l'intérieur du cylindre. Il faut en effet tenir compte de l'accélération du style très importante pendant cette période. Si nous supposons que le style se meut en ligne droite, ce qui peut être considéré comme suffisamment exact, à cause de la grandeur du rayon de la circonférence qu'il parcourt, aura, y étant le chemin parcouru par le style et que p peut mesurer, p étant la pression du gaz à un instant quelconque

$$p = ky + r \frac{d^2y}{dt^2};$$

ky est la pression développée par le ressort lorsque le style a parcouru le chemin y ; $r \frac{d^2y}{dt^2}$ est la force accélératrice.

Pour déterminer le coefficient r , nous remarquerons lorsque le style vibre, la tension d'équilibre du ressort restant constante, on a

$$y = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

et par conséquent

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} y.$$

Si P est la tension du ressort, on a

$$r \frac{d^2y}{dt^2} = -P = -ky,$$

r étant un coefficient qui joue le même rôle que la masse dans le cas d'un mobile isolé; on aura donc, en multipliant par r

$$r \frac{d^2y}{dt^2} = -P = -\frac{4\pi^2}{T^2} ry = -ky,$$

d'où l'on tire

$$r = k \frac{T^2}{4\pi^2}.$$

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

coefficient r représente donc en quelque sorte la
du style. On a ainsi

$$\sigma = ky + k \frac{T^2}{4\pi^2} \frac{d^2y}{dt^2}$$

ore

$$\frac{\sigma}{k} = y + \frac{T^2}{4\pi^2} \frac{d^2y}{dt^2}.$$

s pouvons calculer $\frac{d^2y}{dt^2}$ puisque la courbe donne
 t); nous connaissons d'ailleurs la durée des vibra-
u ressort; nous pouvons donc calculer la pression
e σ à un instant quelconque de la propagation. Les
ne seront jamais très précis à cause de la dif-
de mesurer y avec assez d'exactitude pour que
soient bien exactement connus, mais ils nous feront
tre les principales circonstances de la propagation.

pagation dans l'expérience (4 XI, 3). — Nous
ons comme exemple l'expérience (4 XI, 3) faite avec
ogène brûlant dans l'air pour CO.

me on le voit *fig. 9*, Pl. XV, la période de propagation

3 vibrations environ. On partage chaque durée de
on en dix parties égales, et on mesure les ordonnées
cun des points ainsi obtenus. On obtient ainsi le ta-
suivant dans lequel les ordonnées représentent tou-
les pressions mesurées en centimètres.

4 XI, 3.

TEMPS en dixièmes de vibra- tion.	y	$2 \frac{dy}{dt}$	$4 \frac{d^2y}{dt^2}$	$\frac{T^2}{4\pi^2} \cdot \frac{d^2y}{dt^2}$	$\varpi - h$	ϖ	$2 \frac{d\varpi}{dt}$	$4 \frac{d^2\varpi}{dt^2}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
2	0							
3								
4								
5								
6	10							
7	14	9						
8	19	11	5	3	22	85		
9	25	14	6	4	29	92	15	
10	33	17	7	4	37	100	18	7
11	42	21	8	5	47	110	22	9
12	54	25	7	5	59	122	27	10
13	69	28	11	7	74	137	32	10
14	84	37	11	8	90	154	37	12
15	104	39	9	9	113	174	44	13
16	123	46	16	10	133	198	50	16
17	150	57	18	11	161	224	60	19
18	180	64	16	10	190	258	69	22
19	214	73	26	16	230	293	82	22
20	253	90	38	24	277	340	91	9
21	304	111	27	17	321	384	91	11
22	364	117	7	4	368	431	102	28
23	421	118	4	2	423	486	111	— 8
24	482	121	— 5	— 3	479	542	94	— 28
25	542	103	— 42	— 26	516	589	83	— 23
26	585	79	— 46	— 29	556	619	71	— 26
27	621	57	— 43	— 27	594	657	57	— 34
28	642	36	— 37	— 23	619	682	37	— 52
29	657	20	— 42	— 26	631	694	5	— 52
30	662	— 6	— 60	— 38	624	687	— 15	— 11
31	651	— 40	— 56	— 35	616	679	— 6	
32	622	— 62	— 7	— 4	618	681		
33	589	— 47	+ 25					
34	575	— 37						
35	552							

La colonne 7 donne la pression ϖ du gaz telle qu'elle s'exerce à chaque instant. Nous pouvons contrôler immédiatement l'exactitude de notre calcul, car l'ordonnée notée ici 30 correspond à celle que, dans le relevé de la période de

refroidissement, nous avons appelée 0,5. Ce point est celui où le maximum de pression est obtenu ; il marque donc à la fois la fin de la période de la propagation, et le commencement de celle du refroidissement. Or nous avons trouvé pour ce point (V. page 415) $\omega - h = 625^{\text{cm}}$, ce qui confond se avec la valeur 624^{m} que nous venons de trouver par une méthode entièrement différente.

La *fig. 1*, Pl. XVI, montre à la fois la courbe (en trait continu) décrite par le style, c'est-à-dire $y = f(t)$, et la courbe (en points longs) qu'aurait décrite le même style s'il avait suivi la variation de pression du gaz sans prendre d'accélération.

La forme malheureusement défectueuse que nous avons donnée à l'enceinte qui contenait notre gaz, fait que la propagation se partage en deux périodes. En effet l'inflammation, produite au centre du cylindre par l'étincelle, se propage d'abord à partir de ce point en formant une sorte d'onde sphérique enflammée qui s'accroît sans cesse jusqu'à ce qu'elle vienne toucher les parois du cylindre. Le cylindre ayant une hauteur égale à son diamètre, l'onde, si elle reste sphérique, vient toucher à la fois les parois latérales et les deux fonds plats. La seconde période de la propagation commence à cet instant et se termine au moment où la flamme atteint la courbe d'intersection des fonds plats et de la paroi cylindrique.

Pendant la première période, la propagation doit se faire sans refroidissement sensible, puisque l'onde enflammée ne touche pas encore les parois. Il n'y a donc alors d'autre perte que celle qui peut provenir du rayonnement et celle, encore plus faible, due au refroidissement, sous l'action de la paroi, de la portion des gaz non enflammés qui la touche, et qu'échauffe la compression produite par l'augmentation de volume de la portion brûlée. Ces deux causes de refroidissement peuvent être considérées comme négligeables.

Pendant la seconde période, au contraire, il y a refroidissement sous l'action des parois, et le refroidissement va même en croissant avec la propagation, puisque la portion de la surface du cylindre qui est en contact avec la paroi va sans cesse en croissant (*).

Rapport de la durée de la propagation sans refroidissement à la durée totale de la propagation. — La loi de la propagation, et par suite celle de l'accroissement de pression doivent donc être très différentes dans l'une et l'autre période, et l'on peut, en se fondant sur cette déduction, chercher à assigner le moment où finit la première et commence la seconde.

Nous pouvons, pour résoudre la question, étudier la loi de variation de la pression ϖ avec le temps, loi qu'exprime la colonne (7) du tableau précédent. Nous sommes amenés ainsi à former les $\frac{d\varpi}{dt}$ et $\frac{d^2\varpi}{dt^2}$.

Les valeurs de $2 \frac{d\varpi}{dt}$ et $4 \frac{d^2\varpi}{dt^2}$ sont inscrites dans les colonnes (8) et (9).

Les courbes représentant $2 \frac{d\varpi}{dt}$ et $4 \frac{d^2\varpi}{dt^2}$ sont données dans la *fig. 2*, Pl. XVI.

En examinant la courbe $2 \frac{d\varpi}{dt}$, on voit que cette courbe suit une marche très régulière jusque vers l'abscisse 17.

(*) Il faut d'ailleurs remarquer que la propagation de la flamme doit se faire ici dans des conditions de régularité bien différentes de celles que l'on observe lors de la propagation dans un tube. Il ne se produit en effet aucune cause qui tende à provoquer des vibrations dans la masse non brûlée, telle que l'échappement des gaz par l'un des orifices du tube. Or nous avons vu, dans notre précédent mémoire, que ce sont précisément ces vibrations qui troublent la vitesse de propagation en l'accélérant.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

lelà la courbure change de signe et le taux d'accroissement de la pression subit une évidente diminution. Cette particularité devient encore plus manifeste sur la courbe qui représente $4 \frac{d^2\omega}{dt^2}$, qui présente son maximum à l'abscisse 18.

On peut conclure de là que la période de propagation avec refroidissement commence à l'origine de la combustion et correspond à l'abscisse 2 et cesse à l'abscisse 17,5, ayant ainsi une durée égale à 15,5 dixièmes de vibration. La propagation accompagnée de refroidissement dure depuis l'abscisse 15,5 jusqu'à l'abscisse 29,5, soit pendant 14,0 dixièmes de vibration. Si nous appelons D_s la durée de la propagation sans refroidissement (qui est en même temps la durée de propagation suivant une onde sphérique), D_r la durée de propagation avec refroidissement, nous aurons donc

$$D_s = 17,5 \quad D_r = 15,5 \quad \frac{D_s}{D_r} = 0,56.$$

Cette donnée est importante, car si l'on pouvait regarder la propagation comme se faisant avec la régularité théorique, il serait permis de regarder $\frac{D_s}{D_r}$ comme constante dans toutes les expériences; le chemin à parcourir par la flamme dans chacune des deux périodes étant toujours le même, et toute cause qui tend à accélérer l'une tendant à accélérer l'autre dans le même rapport.

Nous avons répété les mêmes opérations sur plusieurs autres expériences, choisies parmi celles qui donnaient la propagation la plus lente.

Pour l'expérience (1 VII, 1) on a

$$D_s = 7,75 \quad D_r = 4,50 \quad \frac{D_s}{D_r} = 0,42.$$

Pour l'expérience (8 V, 3), on a

$$D_p = 12^{\text{vib.}}$$

$$D_s = 4,25 \quad D_z = 7,5 \quad \frac{D_s}{D_p} = 0,35.$$

On voit que $\frac{D_s}{D_p}$, quoique variant beaucoup moins que D_p , diminue lorsque D_p augmente. On comprend facilement ce résultat, car pour admettre l'invariabilité de $\frac{D_s}{D_p}$, il faut supposer que l'onde enflammée vient toucher au même instant les parois latérales et les deux fonds du cylindre. C'est ce qui aurait lieu si l'inflammation était toujours bien centrale et si la propagation de l'inflammation avait toujours lieu, pendant la première période, suivant des ondes sphériques concentriques. Il faudrait pour cela que les différences considérables de densité engendrées par la combustion ne produisissent pas de courants dans la masse, car ces courants auraient pour résultat d'accélérer le mouvement de la flamme vers le haut du cylindre, hâtant par conséquent le moment où la flamme vient toucher l'une des parois et où commence le refroidissement. L'effet de ces courants, s'ils se produisent, sera d'abrégier la première période pour allonger la seconde. C'est précisément ce que montre l'expérience.

On peut donc, par ce qui précède, constater l'existence, et jusqu'à un certain point apprécier l'importance de ces courants gazeux. Dans le cas qui nous occupe, ils sont en quelque sorte portés au maximum, car la différence de densité entre le gaz non brûlé et le gaz brûlé est considérable. Cependant leur influence est, en définitive, assez limitée puisque, la durée totale de la propagation variant de 3 à 12, le rapport $\frac{D_s}{D_p}$ varie seulement de 0,56 à 0,375. Il est donc, d'après cela, permis de penser que l'in-

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

e de ces courants est assez peu sensible pendant le lissement du gaz brûlé, les différences de densité es diverses parties du gaz étant alors beaucoup moins es.

près les trois expériences précédentes, la variation port $\frac{D_2}{D_1}$ est à peu près proportionnelle à la durée D_1 ,

nerait à la limite, pour $D_1 = 0$, un rapport $\frac{D_2}{D_1} = 0,60$.

pouvons donc, sans grande erreur, considérer 0,60 comme s'appliquant aux mélanges gazeux dans ls la vitesse de propagation est grande.

apport de la longueur parcourue dans la première e à celle qui est parcourue pendant toute la propaga- it d'ailleurs celui de 1 à 1,42, soit 0,70. La propaga- marche donc un peu plus vite pendant la première e que pendant la seconde.

pression mathématique de la loi de propagation.
is pouvons, au moyen de la loi des variations de ω pen- i propagation, prendre une idée assez précise des cir- nces de cette propagation. Pour y arriver, il nous faut quelques formules. Soit :

ensité du mélange gazeux avant la combustion,
ontraction de l'unité du volume après la combustion,
olume total du cylindre,
olume actuel du gaz brûlé, c'est-à-dire le volume de l'onde nflammée,
ression dans le cylindre,
ression initiale,
empérature absolue de combustion à volume constant,
empérature absolue initiale.

s cherchons ω en fonction de v .

volume non enflammé $(1-v)$ était à la température τ .

et à la pression h , et il a été comprimé jusqu'à la pression ϖ ; si l'on suppose qu'il n'a pas fait de gain extérieur de chaleur, sa température est devenue τ'_0 et l'on a

$$\frac{\tau'_0}{\tau_0} = \left(\frac{\varpi}{h}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

γ étant le rapport des deux chaleurs spécifiques, supposé constant entre τ_0 et τ'_0 . Pour les gaz parfaits, on a, à la température ordinaire, $\frac{\gamma-1}{\gamma} = 0,29 = \frac{0,41}{1,41}$. Nous poserons pour abréger,

$$\frac{\gamma-1}{\gamma} = \alpha;$$

il vient donc

$$\frac{\tau'_0}{\tau_0} = \left(\frac{\varpi}{h}\right)^\alpha.$$

Le gaz brûlé serait à la température τ (*) si le volume en était resté constant, mais il s'est dilaté, et sa véritable température est τ' . En admettant toujours qu'il n'y ait eu ni gain ni perte de chaleur, on aura

$$\frac{\tau'}{\tau} = \left(\frac{\varpi}{y}\right)^{\alpha'}$$

α' étant la valeur du rapport $\frac{\gamma'-1}{\gamma'}$ à la température τ' .

La pression y est celle qui serait supportée par une masse de gaz de densité $\frac{p_0}{1-l}$, et à la température τ , tandis que la même masse de gaz, avec le même volume, une densité p_0 et une température τ_0 supporte une pression h ; on a donc

$$\frac{h}{\tau_0} = \frac{y}{\tau(1-l)}$$

(*) Nous admettons que la température du volume du gaz brûlé est uniforme, négligeant l'influence de la tranche actuellement en combustion, et celle de la répartition variable des températures dans la masse.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

conséquent

$$y = A \frac{\tau (1-l)}{\tau_0}.$$

on admettait la loi de Laplace, fondée sur la constance
aleurs spécifiques des gaz, on aurait donc

$$\frac{\tau'}{\tau} = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\alpha} \left[\frac{\tau_0}{\tau(1-l)}\right]^{\alpha}.$$

formule n'est plus applicable, lorsque α subit une va-
r considérable. Pour les gaz simples, nous verrons
oin que la chaleur spécifique moyenne à volume con-
entre 0 et 2500° passe de 4,8 à 8,2, subissant ainsi
croissement de 1,4 environ, ce qui correspond à
croissement égal à 2,8 pour la chaleur spécifique
ie.

rapport des chaleurs spécifiques sera ainsi à 2500°

$$\frac{8,2}{4,8} = 1,32,$$

qu'à 0° il est

$$\frac{6,8}{4,8} = 1,41.$$

τ' est égal à 2500°, il conviendra, en conservant la
le de Laplace, de prendre pour γ une valeur intermé-
entre 1,32 et 1,41, soit 1,36.

aurait ainsi pour α la valeur $\frac{0,36}{1,36} = 0,265$ au lieu

$\frac{1}{1} = 0,29$. Dans le calcul d'approximation qui va

, on peut donc conserver la formule de Laplace et
ser que α est constant, sans commettre une grande

nt les températures τ_0 et τ en fonctions de ω , τ_0 et τ ,
llons écrire que le poids du gaz est resté constant

dans le cylindre, ce qui donnera, p_0 étant la densité,

$$\frac{\varpi v}{(1-l)\tau} p_0 + \frac{\varpi(1-v)}{\tau'_0} p_0 = \frac{h}{\tau_0} p_0.$$

Remplaçant τ'_0 et τ par les expressions précédemment trouvées, il vient

$$\frac{\varpi v (1-l)^\alpha}{\tau \left(\frac{\varpi}{h}\right)^\alpha \left(\frac{\tau_0}{\tau}\right)^\alpha (1-l)} + \frac{\varpi(1-v)}{\tau_0 \left(\frac{\varpi}{h}\right)^\alpha} = \frac{h}{\tau_0},$$

ou, en multipliant par $\frac{\tau_0}{h^\alpha}$, et posant pour abréger,

$$k = \left[\frac{\tau_0}{\tau(1-l)} \right]^{1-\alpha};$$

$$\varpi^{1-\alpha} = \frac{h^{1-\alpha}}{1-v(1-k)}. \quad (a)$$

Cette expression donne une relation entre la pression observée ϖ et le volume v de l'onde enflammée. Si l'on remarque que k est une constante, puisque la température τ est la température de combustion, on peut connaître au moyen de cette formule les variations de v , c'est-à-dire la loi de la propagation.

Appliquée à l'expérience (3 XI, 3) dans laquelle les produits de la combustion sont de l'azote et de l'oxyde de carbone, la formule (a) donne pour chaque dixième de vibration, compté à partir de l'origine de la combustion, des valeurs de $(1-k)v$ qui sont représentées par les ordonnées de la courbe (*fig. 3, Pl. XVI*).

On voit sur cette courbe que, à partir de l'inflammation, le volume, après s'être accru assez lentement croît à peu près proportionnellement au temps jusqu'à la fin de la période de propagation sphérique, pour prendre ensuite une marche beaucoup plus lente, qui est d'ailleurs déterminée par la nature du vase dans lequel la flamme se meut.

Sauf pendant les premiers instants, le volume de l'onde

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

e croît donc proportionnellement au temps pendant la durée de la propagation sphérique, c'est-à-dire que la flamme peut se propager librement, sans se par la forme du vase.

appelle r le rayon de l'onde enflammée, l'accroissement différentiel de volume de cette onde est

$$4\pi r^2 \frac{dr}{dt} dt.$$

l'accroissement étant constant, la quantité $\frac{dr}{dt}$ qui représente l'accroissement linéaire, ou ce que l'on peut appeler la vitesse de propagation, varie à chaque instant en raison inverse du carré du rayon de l'onde.

Or nous avons déterminé le moment où l'onde vient toucher les parois du cylindre, et que nous faisons : 1° le volume de l'onde en ce moment, et le rapport entre ce volume et le volume total du cylindre ;

lequel est égal à $\frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{r^3}{R^3}$; 2° la pression p qui existe dans le cylindre à cet instant ; la formule (a) peut nous permettre de calculer k , d'où l'on peut déduire τ , c'est-à-dire la température de combustion. Ce calcul n'est pas très exact, mais il est bon de l'exécuter pour vérifier l'exactitude de notre formule, et celle de la méthode que nous avons suivie pour obtenir la durée de la propagation sphérique de propagation.

Effectuant les calculs, on trouve que si l'on supposait

$$\text{le volume } v = \frac{2}{3}$$

on aurait pour le temps τ , on aurait $\tau = 5900^\circ$

— 16, — $\tau = 2690^\circ$

— 15, — $\tau = 2300^\circ$.

Or nous verrons qu'en réalité $\tau = 2780^\circ$; la fin de la pre-

mière période de propagation se produit donc entre 16 et 17, tandis que nous avons trouvé, par un procédé tout différent, qu'elle était effectuée entre 17 et 18. L'accord est satisfaisant pour des mesures et des calculs assez délicats. Ainsi se trouve vérifiée l'hypothèse faite, que la propagation s'effectue avec régularité, pendant toute la première période de la propagation, suivant des ondes sphériques concentriques, à peine altérées par les courants gazeux.

Recherche de la perte de température subie pendant la durée de la propagation avec refroidissement. — Nous pouvons encore faire servir la formule (1) à une autre étude qui a un grand intérêt pour la recherche des températures de combustion. Nous obtenons, par nos calculs que nous développerons plus loin, une valeur de k qui est moins approchée de τ ; nous pouvons donc calculer la valeur de k , et par conséquent celle de v à chaque instant, puisque nous connaissons $k(1-v)$. Nous pouvons ainsi calculer les variations de v pendant la seconde période de la propagation, c'est-à-dire pendant que la flamme se propage dans l'espace compris entre la sphère tangente aux parois intérieures du cylindre et ces mêmes parois.

On peut d'ailleurs admettre que la flamme continue pendant cette période à se propager sphériquement, de telle sorte que la surface soit limitée à chaque instant par deux portions de sphères ayant pour centre commun celui du cylindre. La surface de contact de la flamme avec les parois du cylindre va en augmentant à mesure que la flamme avance, et si l'on appelle s le rapport de cette surface de contact à la surface intérieure totale du cylindre, un simple calcul géométrique donnera la valeur de s en fonction du volume v qu'occupe la flamme.

Puisque, par le procédé indiqué plus haut, on connaît empiriquement v en fonction du temps t , on pourra d

Procédé employé pour la détermination de la pression maxima II, développée par la combustion. — En se reportant à ce que nous avons dit plus haut sur le procédé au moyen duquel on mesure, lorsque le manomètre vibre, la pression exercée par le gaz contenu dans le cylindre, on verra que, dans ce cas, qui est presque général, le point de la courbe des pressions, le plus rapproché du maximum, que nous pouvons mesurer directement avec précision suffisante, correspond à l'élongation minimale du style qui suit la première élongation maxima. Ce point est celui que nous avons toujours appelé 1. Pour mesurer la pression du gaz qui s'exerce lors de la première élongation maxima, c'est-à-dire au point 0,5, il faut en prolonger au sentiment la courbe tangente aux élongations minimales du style. On ne peut avoir ainsi qu'une mesure approximative, très insuffisante quand les premières vibrations ont une grande amplitude. Nous n'avons donc la pression correspondant au point 0,5, c'est-à-dire la pression maxima développée dans le cylindre prolongeant, jusqu'à ce point, la courbe des pressions telle que nous l'avons déterminée depuis les pressions initiales jusqu'au point 1 inclusivement.

Bien qu'on fasse ainsi une véritable extrapolation, ce calcul peut être considéré comme très exact, surtout si l'équation de la courbe est bien définie, car le point où s'arrête l'extrapolation est très voisin de celui où finit la portion connue de la courbe.

Lorsque le mélange gazeux est partiellement dissocié, la température de combustion, on ne peut plus déterminer, d'une façon aussi satisfaisante, la loi de refroidissement des gaz au-dessous et dans le voisinage de la première vibration. L'équation de la portion connue de la courbe est alors moins bien assurée. Aussi ne peut-on obtenir dans ce cas que des valeurs assez incertaines de la pression maxima II.

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION.

pour obtenir $\frac{1}{(\varpi - \varpi_0)_{0,5}}$, d'où l'on déduit sans
 $(\varpi - \varpi_0)_{0,5}$.

Prenons comme exemple l'expérience (4 XI, 3).

	$\varpi - \varpi_0$	$10^5 \cdot \frac{1}{\varpi - \varpi_0}$	$\frac{d}{dt} \frac{1}{\varpi - \varpi_0} \times 10^5$	
1	587	170		Moyen
1,5	563	178	14	
2	542	184	14	
2,5	521	192	14	
3	504	198	13	
3,5	487	205	15	
4	470	213	15	
4,5	455	220	14	
5	441	227	15	
5,5	425	235	15	
6	413	242	14	
7	390	256	14,5	
8	369	271	14,5	
9	351	285	14,5	
10	333	300	14	
11	320	313		

On peut donc prendre $10^5 \times 14,3$ pour la valeur
qui donne

$$10^{-5} \frac{1}{(\varpi - \varpi_0)_{0,5}} = 170 - \frac{14,3}{2} = 1629$$

et par conséquent

$$(\varpi - \varpi_0)_{0,5} = 614.$$

Cette valeur diffère fort peu de celle (615) q
avons mesurée directement. Il est vrai que, dans le
nous avons choisi, la faiblesse des amplitudes vit
était particulièrement favorable pour la mesure.

Cas des gaz entièrement condensables. — Lors
a, ce qui est le cas par exemple pour le mélange

Or $\int \frac{e_y}{y} dy$ est une fonction de y qu'ont étudiée les analystes et à laquelle ils ont donné le nom de *logarithme intégral*. Si nous représentons cette fonction par li aura

$$d. li [-\beta(\varpi - p_0)] = \alpha dt.$$

Le précieux recueil de M. Hoüel (*) donne une table de valeurs de $li y$.

On peut donc, dans le cas considéré, pour obtenir la valeur de $\varpi_{0,5}$, diriger les calculs comme il suit.

La construction de la courbe qui a pour équation

$$\log \frac{1}{\varpi - p_0} \frac{d\varpi}{dt} \log \alpha + \frac{\beta}{M} (\varpi - p_0)$$

donne les coefficients α et β . On peut ainsi calculer la valeur de $\beta(\varpi - p_0)_1$ et chercher dans la table $li \beta(\varpi -$

En retranchant de ce li une quantité égale à $\frac{1}{2} \alpha$, on

$$li \beta(\varpi - p_0)_{0,5},$$

d'où l'on déduira la valeur de $(\varpi - p_0)_{0,5}$.

Comme l'épure ne fait pas connaître $\log \alpha$ avec une grande précision, on peut chercher β directement en variant les $li \beta(\varpi - p_0)$ pour les vibrations successives à partir de 1, et calculant les différences de ces valeurs.

Nous allons donner comme exemple le calcul de l'expérience (26 X, 1), faite sur un mélange d'hydrogène d'air.

La courbe a donné

$$M\beta = 0,00335 \quad \text{d'où} \quad \beta = 0,00771.$$

On forme alors le tableau suivant

(*) *Recueil des formules et des tables numériques*. P. 61.

TEMPÉRATURES DE COMBUSTION.

sur le fait énoncé plus haut (page 476), que la fin de période correspond au maximum de $\frac{d^2\omega}{dt^2}$ lequel se proc

peu près en même temps que le maximum de $\frac{d^2y}{dt^2}$, y

l'ordonnée de la courbe décrite par le style. Il suffit de fixer, ce qui se fait assez aisément, le point où la courbe décrite par le style a sa courbure maxima. La longueur comprise entre ce point et l'origine de la combustion, rapportée à la longueur qu'occupe une vibration du mètre, donne D_r . Or nous avons vu que l'on peut poser,

les mélanges à propagation rapide $\frac{D_r}{D_p} = 0,60$ (page 476) ce qui fait connaître D_r .

On peut donc toujours ainsi obtenir avec une grande précision, la valeur de la pression maxima réellement exercée dans le cylindre par le gaz brûlé. Mais cette pression n'est pas celle que nous cherchons, c'est-à-dire celle qu'exercerait le gaz brûlé si, pendant la propagation de la combustion, le gaz ne perdait aucune quantité de chaleur.

A cause de la forme de l'enceinte, la durée de la propagation se partage, comme on l'a vu, en deux périodes distinctes. Pendant la première, la propagation peut être considérée comme n'étant accompagnée d'aucun refroidissement notable; pendant la seconde, au contraire, l'influence refroidissante des parois est notable, et il importe de calculer l'effet qui devra être ajouté à la pression maxima observée ou calculée pour obtenir la pression cherchée.

Correction relative au refroidissement qui se produit pendant cette période de la propagation dont la durée est égale à D_r . — Pendant la période de refroidissement sans propagation, la variation de pression est

où la pression maxima réelle s'exerce, on ne s'arrêterait qu'à l'instant qui correspond au milieu de la période durée est D_r .

Cela reviendrait à ajouter à la pression maxima correction C représentant l'accroissement de l'ordonnée de la courbe des pressions pendant la durée $\frac{1}{2} D_r$.

Pour que ce mode de correction fût exact, il faudrait que la température de la masse gazeuse variât, et que la pression Π à la pression ϖ_m pendant la durée $\frac{1}{2} D_r$ suivant la même loi que cela a lieu lorsque la propagation est achevée. Il ne peut pas en être rigoureusement exact parce que, pendant la propagation, la surface libre enflammée est à une température constante qui est la température de combustion. La correction C telle qu'on la calcule est donc trop faible et ne donne qu'une valeur Π_1 , approchée *par défaut* de la pression Π cherchée.

Pour avoir une limite supérieure de Π , nous retenirons qu'on ferait une correction trop considérable si on supposait que pendant la durée $\frac{1}{2} D_r$ la pression

plus faible est égale à Π , ou même à sa valeur actuelle par défaut Π_1 . Cette correction C' est celle que l'on obtiendrait en prolongeant la courbe jusqu'à l'instant qui correspond non plus au milieu, mais au commencement de la période D_r , et prenant la différence des ordonnées correspondantes respectivement au commencement et à la fin du temps D_r . La pression Π sera ainsi comprise entre une valeur faible $\varpi_m + C$ et une valeur trop forte $\varpi_m + C'$. On adoptera pour Π la valeur moyenne $\varpi_m + \frac{C + C'}{2}$.

Prenons pour exemple l'expérience (4 XI, 3). Nous avons trouvé

$$D_r = 1',2, \quad \text{et} \quad \frac{d}{dt} \cdot \frac{1}{\varpi - \varpi_0} = 14.10^5.$$

On prendra

$$\Pi - \varpi_0 = 322 + \frac{43 + 63}{2} = 375.$$

Vérification du procédé de correction employé. — Pour voir si les déductions qui nous ont amenés à notre procédé de correction sont valables, nous allons l'appliquer à un cas en quelque sorte limite, où la durée D_r est extrêmement considérable, où la différence entre C et C' l'est également et où, par conséquent, l'erreur provenant du mode de correction doit être beaucoup exagérée. Nous choisirons l'expérience (3 XI, 1). Elle était faite avec un mélange très peu différent de celui de l'expérience (1 VII, 1); il contenait, en effet, 1',37 de CO^2 au lieu de 1',40 pour 1' de mélange tonnant $\text{CO} + \text{O}$. Mais, par suite d'un accident peu rare dans des mélanges à propagation lente et qui nous a d'ailleurs fait rejeter cette observation, la propagation a duré un temps considérable, qui n'a pas été moindre de 15 vibrations. La durée D_r , calculée avec soin par le procédé des différences secondes exposé plus haut, s'est trouvée égale à 10',50.

La quantité $10^5 \cdot d \cdot \frac{1}{\varpi - \varpi_0} = 14,9$.

On calcule ainsi les nombres suivants :

	$\varpi - \varpi_0$	$\frac{1}{\varpi - \varpi_0} \cdot 10^5$
5',25 {	533	187
5',25 {	376	266
0,5 {	290	345

On a donc

$$C = 86$$

$$C' = 157,$$

d'où l'on déduit

$$\Pi - \varpi_0 = 290 + \frac{86 + 157}{2} = 411.$$

cerons en outre la pression initiale h par la pression $h \frac{273}{\tau_0}$ qui aurait été, dans le cylindre, celle du mélange initial, si on l'avait ramené à la température zéro. Nous calculerons, pour chaque observation, le rapport $\frac{\Pi}{h} \cdot \frac{\tau_0}{273}$, que nous appellerons Π_0 .

Calcul donnant la température de combustion. — Lorsqu'on a obtenu Π , et que le gaz ne subit pas de dissociation pendant la combustion, la température absolue τ de combustion se calcule par la formule très simple

$$\tau - \tau_0 = \frac{\Pi - \varpi_0}{\tau_0}.$$

On a ensuite la température vulgaire T de combustion par la formule

$$T = \tau - 273 = (\tau - \tau_0) + (\tau_0 - 273).$$

Lorsqu'il y a dissociation, la température de combustion ne peut être calculée que si l'on connaît la valeur des chaleurs spécifiques des gaz à la température T ; à moins que la combustion ne fasse subir aucune contraction au mélange gazeux.

RÉSULTATS DONNÉS PAR L'OBSERVATION.

Dans les tableaux qui suivent, on a fait figurer, pour chaque mélange gazeux expérimenté :

- 1° La composition avant la combustion;
- 2° La pression initiale h ;
- 3° La pression ϖ_0 qu'aurait le gaz brûlé si on le faisait refroidir à τ_0 sans lui permettre de se condenser;
- 4° Le cas échéant, la pression réelle p_0 du gaz brûlé après refroidissement et condensation;



3° Mélanges $1\text{CO} + \text{O} + p \text{ Air}$.

NUMÉROS.	DATES.	VOLUMES gazeux ajoutés à 1 volume (CO + O)	h	σ_0		θ_0	D_p	D_r
				cal- culé.	ob- servé.			
9	23 VI, 3	Az 1,27 Vap 0,06	76,4	65,4	65,6	18°	1,03	0,41
10	26 X, 4	Az 1,58 O 0,09 Vap. 0,04	1,67 73,1	64,0	64,1	12	2,10	0,84
11	26 X, 2	Az 1,86 O 0,15 Vap. 0,04	2,01 73,1	65,2	65,0	12	4,14	2,08
12	26 X, 1	Az 1,66 O 0,38 Vap. 0,04	2,04 73,2	65,3	66,0	12	4,60	2,10
13	23 VI, 4	Az 2,46 Vap. 0,04	76,4	69,1	69,3	III	4,3	2,15
14	23 VI, 2	Az 2,38 O 0,29 Vap. 0,07	2,67 76,4	69,6	70,0	18	7,5	4,10

En comparant les expériences 1 et 6 qui peu près la même proportion, l'une d'oxyde l'autre d'oxygène, et qui montrent une différence, on voit que la pression finale est la même.

Il est plus intéressant de comparer les expériences 4, 8, 11 et 12, contenant pour l'un environ d'un gaz étranger que l'oxyde de carbone, soit de l'oxygène, soit de l'azote, la température finale est très sensiblement la même, 1950° environ. Les différences, qui n'atteignent que de l'ordre des erreurs d'expériences. Ce qui est important, car il montre que les chaleurs de combustion des trois gaz, qui sont égales entre elles au point ordinaire, le sont encore vers 2000°.

combustion (après refroidissement) dans l'expérience 1, mais nous l'avons mesurée pour l'expérience 3 et obtenue presque exactement le chiffre théorique. La proportion d'acide carbonique formée devait donc être faible; et par le moyen de l'absorption par la potasse nous ne l'avons pas trouvée, en effet, supérieure à 4 p. 100.



1. The first part of the document is a header section containing the title and the author's name.

2. The second part of the document is the main body of the text, which is divided into several paragraphs. The first paragraph discusses the importance of the research and the objectives of the study. The second paragraph describes the methodology used in the study, including the data collection and analysis techniques. The third paragraph presents the results of the study, which show a significant positive correlation between the variables. The fourth paragraph discusses the implications of the findings and the limitations of the study. The fifth paragraph concludes the study and provides recommendations for future research.

par la combustion de l'oxyde de carbone, que les chaleurs spécifiques des gaz parfaits restent égales entre elles à des températures très élevées, qui dépassent ici 2800°.

La courbe *fig. 6*, Pl XVI, dans laquelle les abscisses sont les proportions de gaz étrangers contenus dans 1 volume total de mélange, montre d'ailleurs que toutes les observations se relient bien entre elles.

Nous appellerons spécialement l'attention sur les expériences 11 à 17, faites avec un mélange sensiblement identique, contenant 2' de gaz pour 1' de mélange tonnant, mais avec des pressions initiales variant de 73,2 à


19,2, soit de 1 à $\frac{2}{3,9}$. La température de combustion est,

en moyenne, de 1900° environ, et l'écart maximum des observations est seulement de 60° pour l'expérience 16, soit de 3 p. 100. Il est donc bien démontré que les variations de pression n'influent pas sur la température finale. Au moins l'influence, s'il y en a une, est très faible, et de l'ordre des erreurs d'observation.

En comparant, avec les expériences dans lesquelles le gaz ajouté au mélange tonnant est un gaz simple, celles dans lesquelles le gaz ajouté est de l'acide carbonique, on voit immédiatement la différence considérable qui existe entre ces gaz et les gaz simples. Dans l'expérience 30, on a ajouté au gaz tonnant 2' d'acide carbonique; la température de combustion est seulement de 1280°. Un mélange contenant 2' d'un gaz simple donne une température de 1980° environ. L'acide carbonique a donc, aux températures élevées, une chaleur spécifique beaucoup plus grande que celle des gaz simples.

V. — Mélanges formés avec CH_4 (formène ou grisou).

Fig. 2, Pl. XVII.

<div style="text-align: center;">  </div>													
1	13 VII, 1	O	1,84	40,4	1,53	19,9	24°	0	0	487	575	15,15	*
		Vap.	0,17										
<i>Grisou et air.</i>													
2	11 VI, 4	O	2,81	76,0	1,86	66,3	15	5,60	2,30	571	611	6,96	1660°
		Az	10,53										
		Vap.	0,25										
3	11 VI, 3	O	2,37	76,0	1,77	65,8	15	4,04	2,05	551	601	8,33	1870
		Az	8,90										
		Vap.	0,21										
4	11 VI, 9	O	2,03	76,0	1,86	63,0	15	1,96	0,98	606	646	8,93	2150
		Az	7,65										
		Vap.	0,19										
5	2 VII, 3	O	1,92	74,4	1,82	61,5	24	1,83	1,10	596	639	9,34	2150
		Az	7,24										
		Vap.	0,32										
6	11 III, 1	O	1,87	76,0	1,74	63,0	12	1,48	0,84	624	660	9,07	*
		Az	7,13										
		Vap.	0,14										
7	11 VI, 2	O	1,84	76,0	1,67	63,3	15	1,83	1,30	605	657	9,07	2100
		Az	6,90										
		Vap.	0,17										
8	11 VI, 8	O	1,72	76,0	1,43	64,4	11	2,02	1,00	571	633	9,01	*
		Az	6,50										
		Vap.	0,16										
9	11 VI, 5	O	1,62	76,0	1,39	65,5	15	2,45	1,79	573	635	8,77	*
		Az	6,16										
		Vap.	0,15										
10	11 VI, 6	O	1,44	76,0	0,88	67,8	15	4,22	2,20	540	611	8,43	*
		Az	5,41										
		Vap.	0,14										

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, les mélanges formés par le gaz que nous avons préparé en suivant scrupuleusement le procédé indiqué comme le meilleur ne donnent pas, après la combustion et le refroidissement, des contractions de volume très conformes à la théorie. Cepen-

expression, on a

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dC_{0,t}}{dt} t + C_{0,t}.$$

La quantité $\frac{dq}{dt}$ est sensiblement la quantité de nécessaire pour élever le corps de t à $t + 1$; qu'on appelle la chaleur spécifique vraie C_t . Si l'on

$$C_{0,t} = C_0 (1 + rt)$$

C_0 étant la chaleur spécifique vraie à 0° , on aura

$$C_t = C_0 (1 + 2rt),$$

d'où l'on voit que l'accroissement qu'éprouve la spécifique vraie pour un accroissement donné de température est le double de celui qu'éprouve la chaleur spécifique moyenne.

On distingue en outre dans les gaz la chaleur spécifique à pression constante et la chaleur spécifique à volume constant. Ces deux chaleurs spécifiques diffèrent en raison du travail de dilatation, accompagnant, dans un échauffement à pression constante, l'accroissement de température de 1° .

Si p est la pression constante, v le volume du gaz, E le coefficient de dilatation du gaz, $E v$ l'équivalent mécanique du travail de dilatation, $E v$ est l'accroissement de volume pour un accroissement de 1° ; $p E v$ le travail de la dilatation, et l'on a, étant les deux espèces de chaleurs spécifiques correspondantes au poids du gaz dont le volume est v ,

$$C_p = C_v + \frac{1}{E} p E v.$$

Nous rapporterons les chaleurs spécifiques du gaz au poids de 1 gramme, mais au poids moléculaire à dire, si l'on veut éviter toute idée théorique, au poids du gaz qui occupe un volume égal à 22^{litres}, 32.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

lume est celui qu'occuperaient à 0° et 760^{mm} les d'hydrogène.

vail de la dilatation de ce volume, lorsque la pression est de 760^{mm} et la température de 0°, est

$$\alpha_{pv} = \frac{10.330}{273} \times 22,3,$$

quantité de chaleur correspondante est

$$\frac{10.330 \times 22,3}{273 \times 43,0} = 1,964.$$

is représentons par C_p et C_v les chaleurs *moléculaires* spécifiques, on aura donc pour tous les gaz

$$C_p = C_v + 1,964.$$

l'expérience confirme en effet l'exactitude presque com-
cette équation pour les gaz dont on a pu mesurer
ent les deux chaleurs spécifiques C_p et C_v .

vrai que ces vérifications ne peuvent se faire que
températures peu différentes de la température
0°. Mais l'équation serait rigoureusement exacte si,
la dilatation ou la contraction, il n'y avait pas de
travail intérieur produit dans le gaz, et c'est ce qui aurait
le gaz suivait rigoureusement les lois de Mariotte et
Boyle. Admettre aux hautes températures l'équa-
tion entre C_p et C_v , c'est donc admettre qu'à ces
températures les lois précitées s'appliquent, sinon mieux,
moins aussi bien, qu'aux températures ordinaires.
Or nous avons, en effet, les plus fortes raisons de

Chaleurs spécifiques des gaz parfaits. — On sait que
les gaz moléculaires présentent ce caractère impor-
tant d'avoir presque rigoureusement la même valeur, aux
températures ordinaires, pour tous les gaz, dits *parfaits*

parce qu'ils suivent mieux que les autres, à la température ordinaire, les lois de Mariotte et de Gay-Lussac.

Poids moléculaire		Chal. sp. moléc.	
		à pr. const.	à vol. const.
H ²	2	6,82	4,86
Az ²	28,08	6,84	4,88
O ²	32,0	6,96	5,00
CO	28,0	6,86	4,90
Cl H.	36,45	6,75	4,79

M. Moutier, dans un récent travail (*), a déduit de la thermodynamique cette conséquence que si deux corps obéissent à des lois de dilatation et de compression identiques, ils ont nécessairement des chaleurs spécifiques égales entre elles. L'égalité des chaleurs spécifiques des gaz parfaits serait une application de ce principe.

On comprendrait encore ainsi pourquoi cette égalité se conserve aux températures élevées, ainsi que nous l'avons constaté, bien que, comme nous le verrons plus loin, les chaleurs spécifiques de ces gaz ne restent pas rigoureusement constantes avec la température.

Quant aux autres gaz, leurs chaleurs spécifiques moléculaires n'ont plus la même valeur, comme on en jugera par les nombres qui suivent :

Poids moléculaire		Chal. sp. moléc.	
		à pr. const.	à vol. const.
Cl ²	70,91	8,58	6,62
CO ²	44	8,23	6,27
H ² O.	18	7,57 (**)	5,61
Az ² O	44,09	7,42	5,46

Une autre différence, plus importante encore, entre ces deux groupes de corps gazeux, a été constatée, au moins

(*) *Journ. de l'Éc. pol.*, cahier. 1884.

(**) Nous verrons plus loin comment a été calculé ce nombre que ne donne pas l'expérience directe.

Il est donc bien établi que la chaleur spécifique des gaz parfaits n'éprouve, entre 100° et 200° , que des variations très petites; toutefois on ne saurait considérer comme absolument démontré que ces variations sont certainement nulles. Le faible écart des résultats obtenus sur la moyenne adoptée ne peut être considérée comme étant la mesure rigoureuse de l'exactitude de l'observation et de la confiance qu'elle mérite. La nullité même de cet écart ne prouverait qu'une chose à la rigueur, c'est que les observations ont toujours été faites dans les mêmes conditions et avec une parfaite habileté. Mais, les causes accidentelles éliminées, il reste les causes systématiques non corrigées que comporte le système même adopté pour l'observation, et Regnault lui-même ne manque pas de le faire remarquer.

Ces considérations ont ici d'autant plus de force que les erreurs systématiques, dans la mesure des quantités de chaleur, tendent toutes à dissiper une certaine partie de la chaleur qu'on veut mesurer, et cela d'autant plus que la température est plus grande. Ces causes d'erreur tendent donc à abaisser la chaleur spécifique des gaz portés à haute température, et par conséquent à dissimuler un léger accroissement de cette chaleur spécifique avec la température.

Nous ne croyons donc pas que, malgré l'autorité de l'illustre observateur, on puisse affirmer que la constance de la chaleur spécifique entre 100° et 200° soit démontrée à plus de 1,5 à 2 p. 100 près.

Quoi qu'il en soit, contrairement ce qui a lieu pour les gaz parfaits, la chaleur spécifique des autres gaz varie beaucoup avec la température. Regnault a constaté et mesuré la variation relativement considérable que subit la chaleur spécifique de l'acide carbonique entre 0° et 200° ; il a signalé une variation analogue pour le protoxyde d'azote. Quant à la vapeur d'eau, la variation de sa chaleur spécifique n'a été ni constatée, ni mesurée directement par aucun obser-

sont assez divergents, surtout à la température de 0° , où la différence est de plus de 4 p. 100 de la valeur. A 200° , au contraire, l'accord est satisfaisant. Il en résulte naturellement que la loi d'accroissement n'est pas la même pour les deux auteurs; elle est très notablement plus rapide pour Regnault. De plus, M. Wiedemann trouve une variation sensiblement proportionnelle à la température, tandis que pour Regnault la variation va légèrement en décroissant.

Tout en constatant ce désaccord qui montre que, même aux températures ordinaires, les chaleurs spécifiques du gaz ne sont peut-être pas connues à plus de 3 à 4 p. 100 près, nous adopterons les nombres de Regnault. Pour les comparer à nos expériences, nous transformerons d'abord les chaleurs *vraies* en chaleurs *moyennes* entre 0° et t , ce qui ne changera pas la chaleur à 0° et divisera par 2 l'accroissement relatif à la température.

Nous aurons ainsi

	Chal. moléculaire moy. à pression const.	Accr ^t .
0°	8,228	
	. . . . .	0,605
100	8,833	
	. . . . .	0,555
200	9,388.	

Il faut encore passer des chaleurs à pressions constantes aux chaleurs à volume constant, ce qui se fera en retranchant 1,964 aux chaleurs moyennes, et ne changeant rien aux accroissements. On trouvera enfin

	Chal. spéc. à volume const.	Accr ^t .
0°	6,264	
	. . . . .	0,605
100	6,869	
	. . . . .	0,555
200	7,424	

On représenterait bien ces nombres par la formule pa-

rabolique

$$C_v = 6,26 + 6,3. t \cdot 10^{-3} - 8,5 t^2 \cdot 10^{-6}.$$

Chaleur spécifique de la vapeur d'eau. — A cause des difficultés particulières d'expérimentation, il s'en faut que l'on possède sur la chaleur spécifique de la vapeur d'eau des données aussi complètes que sur celle de l'acide carbonique.

Regnault a trouvé pour chaleur spécifique moyenne à pression constante, entre 100 et 200°, rapportée au gramme, 0,4776, soit 8,633 rapportée au poids moléculaire 18.

En retranchant $1,964 = A\alpha p_0 v_0$, nous aurons

$$C_{100,200} = 6,669$$

Nous avons d'ailleurs

$$100 \times C_{100,200} = 200 C_{0,200} - 100 C_{0,100}$$

équation dans laquelle les deux membres expriment la quantité de chaleur nécessaire pour porter 1^{er} de 100° à 200°.

On peut en outre poser, au moins entre 0° et 200°,

$$C_{0,t} = C_0 (1 + \alpha t)$$

α étant un certain coefficient, et C_0 la chaleur spécifique à 0°.

L'équation précédente devient donc

$$C_{100,200} = \frac{200 C_0 (1 + 200 \alpha) - 100 C_0 (1 + 100 \alpha)}{100} = C_0 (1 + 300 \alpha).$$

On a ainsi

$$C_0 (1 + 300 \alpha) = 6,669,$$

Les seules expériences d'où l'on puisse déduire la valeur de α , c'est-à-dire la variation de la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, sont celles de M. Winckelmann (*).

(*) Ueber die Wärmeleitung von Gasen und Dämpfen und die Abhängigkeit der specifischen Wärmen derselben von der Temperatur. *Pogg. Ann.*, 159 (1876), p. 177.

Ce savant n'a pas étudié spécialement les chaleurs spécifiques des gaz ; ses expériences avaient pour but de mesurer les coefficients de conductibilité et particulièrement la variation, avec la température, de ces coefficients. Or, d'après les théories de Clausius et Maxwell, si l'on appelle k_t le coefficient de conductibilité à t° , C_t la chaleur spécifique vraie à volume constant à t_0 , on a

$$\frac{k_t}{k_0} = \frac{C_t}{C_0}.$$

Ayant $\frac{k_t}{k_0}$, on peut donc en déduire $\frac{C_t}{C_0}$.

Pour l'acide carbonique, M. Winckelmann tire de ces expériences.

$$\frac{C_{100}}{C_0} = 1,172$$

et les nombres de Regnault combinés avec les expériences de M. Wüllner (*) sur le rapport, à diverses températures des deux chaleurs spécifiques, donnent $\frac{C_{100}}{C_0} = 1,173$. L'accord entre la théorie et l'expérience est donc très satisfaisant

M. Winckelmann a donné ainsi pour la vapeur d'eau

$$\frac{C_{100}}{C_0} = 1,127.$$

L'accroissement de la chaleur *vraie* est donc égal à 0,127 pour 100°, et celui relatif à la chaleur *moyenne* étant moitié serait égal à 0,0645. De cette valeur de l'accroissement, on tire

$$C_0 = \frac{6,69}{1,1905} = 5,61.$$

(*) *Wiedem. Ann.*, 4 (1878), p. 7.

**2° VALEURS DES CHALEURS SPÉCIFIQUES TIRÉES
DE NOS EXPÉRIENCES.**

Procédé employé pour le calcul. — Pour déduire de nos expériences les chaleurs spécifiques des gaz aux hautes températures, nous emploierons l'équation suivante.

Soit

- Q la chaleur moléculaire de combustion du gaz, c'est-à-dire la quantité de chaleur dégagée par la formation d'une quantité du composé qui a pris naissance, égale à son poids moléculaire;
- T la température de combustion, déterminée par nos expériences;
- 1 le volume moléculaire du gaz formé (la vapeur d'eau par exemple), supposé ramené, sans condensation bien entendu, à 0° et 760^{mm}; ce volume représente une molécule du gaz;
- v' , v'' , les volumes moléculaires, toujours ramenés à 0° et 760^{mm}, des autres gaz mélangés, qui n'entrent pas dans la combinaison, mais sont échauffés par la chaleur que développe la combustion.

La chaleur dégagée dans la combustion est Q, s'il n'y a pas de dissociation, puisque la combustion donne naissance à un volume moléculaire du gaz.

Nous supposons, ce qui ne cause qu'une erreur négligeable, que les gaz étaient à 0° avant la combustion; celle-ci a donc porté de 0° à T, non seulement un volume moléculaire du gaz formé par la combustion, mais en outre v' , v'' , etc., volumes moléculaires de chacun des autres gaz.

Si donc C est la chaleur spécifique moléculaire moyenne à volume constant du gaz formé entre 0° et T; C' , C'' , etc., les chaleurs spécifiques moléculaires moyennes des autres gaz, aussi entre 0° et T°, on aura

$$Q = (C + C'v' + C''v'' + \dots)T. \quad (1)$$

formule qui n'est vraie que lorsqu'il n'y a pas de dissociation.

Nos expériences donnent T , v' , v'' , etc. Les quantités Q sont connues par les nombreux travaux de Favre et Silberman, MM. Berthelot, Thomsen, etc. Nous prendrons dans l'*Annuaire du bureau des Longitudes* les nombres suivants donnés par M. Berthelot, et dont nous ferons usage.

	Poids moléc. du gaz formé.	Chaleur de combinaison rapportée à 1 moléc.
$\text{CO}^2 (\text{CO} + \text{O})$	44	+ 68,200
$\text{CO}^2 (\text{C} + \text{O}^2)$	44	+ 94,000
$\text{CO} (\text{C} + \text{O})$	28	+ 25,800
$\text{H}^2\text{O} (\text{H}^2 + \text{O})$	18	+ 58,200
$\text{Cl H} (\text{Cl} + \text{H})$	36,5	+ 22,000
$\text{C}^2\text{Az}^2 (\text{C}^2 + \text{Az}^2)$	52	— 74,500
$\text{CH}^4 (\text{C} + \text{H}^4)$	16	+ 18,500

Avec les résultats de nos expériences, et les valeurs de Q que nous venons de transcrire, la formule (1) détermine immédiatement C lorsqu'on n'a mis en présence, avant la combustion, que les deux gaz qui doivent se combiner, et justement dans les proportions convenables pour qu'il ne reste aucune fraction sensible non combinée. Dans ce cas en effet v' , v'' , etc., sont égaux à zéro.

La température élevée T que développe la combustion du mélange tonnant amène souvent une dissociation; c'est, par exemple, comme on l'a vu, le cas du mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène.

Dans ce cas, on peut tourner la difficulté en mélangeant au gaz tonnant, une proportion suffisante du gaz même qu'il produit en brûlant. Si l'on ajoute, par exemple, un volume v' d'acide carbonique au mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène, la formule (1) devient

$$Q = C (1 + v') T,$$

et, connaissant Q , v' et T , on peut calculer C .

C'est ainsi que nous déterminons la chaleur spécifique de l'acide carbonique.

Égalité des chaleurs spécifiques des gaz parfaits jusqu'à 3000°. — Invariabilité des chaleurs spécifiques avec la pression. — Nous allons maintenant exposer les résultats que l'on peut déduire de nos recherches en ce qui concerne la chaleur spécifique des gaz.

Mais auparavant nous rappellerons que l'examen seul des températures de combustion nous a déjà permis de formuler ces deux lois importantes qui ne sont que le prolongement, à des températures élevées, des lois qui avaient été établies aux températures ordinaires.

1° Les chaleurs spécifiques sont indépendantes de la pression, puisqu'un même mélange gazeux développe, par la combustion, la même température, quelle que soit sa densité initiale. C'est ce que montrent les expériences (12 VII, 1), (2 XI, 1), (11 XI, 1), (15 XI, 3) faites avec le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène ainsi que les expériences (24 X, 3), (26 X, 1), (26 X, 2), (26 X, 3) faites avec un mélange d'hydrogène et d'air.

2° Les chaleurs spécifiques des gaz parfaits, qui sont presque égales entre elles aux températures ordinaires, le sont encore à des températures voisines de 3000°.

a. *Acide carbonique.*

Les expériences 4 à 10 du tableau sont utilisables; nous éliminerons seulement l'expérience 6 qui, faite avec un gaz très peu dense, présente moins de garanties d'exactitude. Nous considérons la chaleur spécifique à volume constant du poids moléculaire 44, qui est supposé occuper l'unité de volume. Si C est cette chaleur spécifique, on a, le volume de l'acide carbonique formé étant pris pour unité

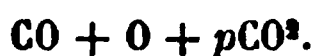
$$Q = (nC + n'C')T$$

v étant le volume de l'acide carbonique total après la combustion, v' celui de la vapeur d'eau, C' étant la chaleur spécifique de H_2O . Nous verrons que C' est peu différent de C ; comme d'ailleurs v' est petit, on pourra, sans erreur sensible, écrire

$$Q = (v + v') CT.$$

Q est, d'après M. Berthelot (*), égal à 68,200.

On obtient ainsi les nombres inscrits dans le tableau ci-joint :



NUMÉROS.	DATES.	$v + v'$	T	C_{CO_2}
3	6 V, 1	2,42	2030	13,7
4	27 VI, 6	2,50	1980	13,7
5	1 VII, 3	2,49	2010	13,6
6	8 V, 1	2,50	1930	14,1 ?
7	4 XI, 1	2,65	1920	13,4
8	1 VII, 2	2,78	1900	13,0
9	1 VII, 1	3,03	1760	12,8
10	8 V, 3	3,25	1640	12,2

On a vu que les expériences de Regnault indiquent pour l'acide carbonique une variation de la chaleur spécifique dont le taux décroît avec la température, de sorte que cette chaleur spécifique moyenne pourrait être représentée par une expression de la forme

$$C_v = a + bt - ct^2,$$

soit en fait

$$C_v = 6,264 + 0,63t \cdot 10^{-2} - 0,025t^2 \cdot 10^{-4},$$

expression qui donnerait $C_v = 8,9$ à 2000° .

Mais il est évident que les expériences ne sont pas assez précises pour que l'on puisse considérer comme connu avec

(*) *Annuaire du Bureau des longitudes.*

pour 2540°. En réalité il n'est pas permis de prolonger notre formule empirique au delà des termes entre lesquels elle a été calculée, et nous ne pouvons pas considérer comme déterminées par nos expériences, les chaleurs spécifiques, notablement au-dessus de 2000°.

Rien n'empêche d'ailleurs d'adopter une autre formule empirique pour relier les trois seuls résultats que nous pouvons considérer comme donnés par l'expérience, l'un à 0°, l'autre à 200°, le troisième à 2000°. On peut essayer par exemple la formule

$$C = \alpha \tau^\beta$$

τ étant la température absolue.

Cette formule est équivalente à celle-ci :

$$\log C = \log \alpha + \beta \log \tau,$$

qui n'a que deux coefficients indéterminés, au lieu de trois que contient la formule parabolique. Malgré cela, elle s'adapte bien aux nombres expérimentaux.

En partant des données relatives à 0° et 2,000°, et remplaçant pour simplifier, τ par $\tau \cdot 10^{-2}$, on trouve

$$\log \alpha = \log 4,33 = 0,636$$

$$\beta = 0,367 = \frac{1}{2,73}$$

et ces coefficients donnent pour 200°, $C = 7,65$ au lieu de 7,42. L'erreur est inférieure à 3 p. 100 et compatible avec les erreurs d'observation.

Notre formule devient alors

$$C_0 = 4,33 \cdot (\tau \cdot 10^{-2})^{0,367}. \quad (2)$$

Cette formule exponentielle à deux coefficients donne des résultats sensiblement égaux à ceux de la formule parabolique (1) à trois coefficients, entre 0° et 2.000°; mais les résultats vont considérablement en divergeant au delà,

comme on peut s'en assurer par le tableau suivant ou par la *fig. 3*, Pl. XVII, dans laquelle la formule (2) est représentée par la courbe en trait plein.

	Formule (1).	Formule (2).
0°	6,26	6,26
500	9,0	9,1
1000	11,1	11,0
1500	11,6	12,4
2000	13,6	15,6
2500	13,9	14,7
3000	13,6	15,6
3500	12,8	16,4
4000	11,4	17,1 ✓

Le coefficient β de la formule (2) n'est pas très éloigné d'être égal à $\frac{1}{3}$. Les nombres de Wiedemann se prêteraient assez bien à l'adoption de ce coefficient très simple. On aurait alors

$$\log a = 0,6755 = \log 4,74$$

$$\beta = \frac{1}{3}$$

Ce qui donnerait

	C_v	
	Calculé.	Observé (Wied).
0°	6,61	6,62
200	7,95	7,69
2000	13,4	13,6

La formule deviendrait très simple et pourrait s'écrire

$$C_v = 4,74 \sqrt[3]{1 \cdot 10^{-2}}. \quad (3)$$

Elle ne donnerait lieu qu'à des erreurs inférieures à 5 p. 100.

b. Vapeur d'eau.

Nous avons vu que la vapeur d'eau ne montre aucun signe de dissociation, jusqu'à une température voisine de

la température de combustion. Nous pourrions donc admettre que la dissociation est nulle ou négligeable, ce qui nous permettra de calculer la chaleur spécifique de la vapeur d'eau à la température de combustion du mélange tonnant, 3380° environ, en nous servant des expériences, d'ailleurs très concordantes faites avec ce mélange.

Si v est le volume d'eau formée par la combustion, v le volume de la vapeur qui saturait le gaz à l'origine, on a

$$C_v (1 + v) T = Q.$$

On a au reste $Q = 58,200$.

Les résultats du calcul sont donnés dans le tableau suivant.

Mélange tonnant ($H^2 + O$).

NUMÉROS.	DATES.	VOLUME GAZEUX mélangés à 1' d'eau H^2O .	T	$\frac{Q}{T}$	C
4	29 VI, 4	Vap. 0,045	3360	17,3	16,5
2	12 VII, 1	O 0,015	3380	17,1	16,3
		Vap. 0,045			
3	2 XI, 1	Vap. 0,015	3320	17,4	17,1
4	11 XI, 1	Vap. 0,028	3240	17,9	17,4
5	15 XI, 3	Vap. 0,067	3210	18,0	16,8

En éliminant les expériences (4) et (3) qui, faites à faible pression, présentent moins de garanties, nous prendrons pour la valeur de la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, à 3350° le nombre 16,6.

Si nous posons la formule

$$C_v = C_0 (1 + \alpha t \cdot 10^{-3}),$$

en nous rappelant que $C_0 = 5,61$, on trouvera pour α la valeur 0,585.

Le coefficient d'accroissement de M. Winckelmann est de 0,0585 et donnerait à 3350° 17,5 au lieu de 16,6. La différence n'est pas assez considérable, surtout en raison

de la voie détournée que le savant physicien a suivie, pour qu'il y ait lieu de s'y arrêter. Nous prendrons donc, pour l'expression de la chaleur spécifique moyenne à volume constant de la vapeur d'eau, la formule

$$C_v = 5,61(1 + 0,585t \cdot 10^{-3}),$$

ou la formule équivalente (*)

$$C_v = 5,61 + 3,28 t \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

Il faut remarquer que la grande différence qu'accuse cette formule, comparée à celle que nous avons trouvée plus haut pour l'acide carbonique, peut trouver son explication dans ce fait important, que la vapeur d'eau ne se dissocie pas sensiblement entre 0° et 3350°, tandis que l'acide carbonique se dissocie déjà vers 1800°.

Nous pouvons nous servir des expériences faites en ajoutant de l'acide carbonique au mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, pour comparer entre elles les expressions (4) et (2) relatives aux chaleurs spécifiques de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. On trouve ainsi :

MUMÉ- ROS.	DATES.	VOLUMES gazeux mélangés à 1 volume d'eau formée H ² O.	T	$\frac{Q}{T}$	CHALEUR spécifique de H ² O déduite de l'expres- sion (4).	CHALEUR spécifique calculée pour CO ² .	CHALEUR spécifique de CO ² déduite de l'expres- sion (2).
28	29 X, 6	CO ² 1,00 Vap. 0,06	2100	27,7	12,3	14,4	13,8
29	2 XI, 2	CO ² 2,28 Vap. 0,06	1540	37,7	10,6	11,6	12,6
30	8 XII, 2	CO ² 3,11 Vap. 0,06	1280	45,3	9,7	11,3	11,8

(*) La formule parabolique que nous avons donnée dans notre première communication insérée aux Comptes rendus, fournit des valeurs de C peu différentes de celle que donne la formule linéaire ci-dessus.

Les expériences 28 et 30 ne donnent que des erreurs relatives inférieures à 5 p. 100 admissibles pour une vérification semblable dans laquelle toutes les erreurs s'ajoutent. L'expérience 29 donne une erreur un peu forte, de plus de 8 p. 100.

c. Chaleur spécifique des gaz parfaits.

Connaissant la chaleur spécifique de la vapeur d'eau et, au moins approximativement, la loi que suivent les variations de cette chaleur spécifique avec la température, nous pouvons nous en servir pour calculer les variations de la chaleur spécifique des gaz simples. Nous utiliserons à cet effet les nombreuses expériences que nous avons faites, dans ce but, en mêlant au gaz tonnant d'hydrogène et d'oxygène des proportions très variables d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

Nous avons déjà reconnu ce fait très important que les chaleurs spécifiques des gaz simples, ainsi que celle de l'oxyde de carbone, sont sensiblement égales entre elles à toute température, comme elles le sont à la température ordinaire. Nous n'aurons donc qu'à chercher pour tous ces gaz, une formule unique qui représente la variation de la chaleur spécifique avec la température.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus.



Chaleurs spécifiques de gaz simples.

NUMÉ- ROS.	DATES.	VOLUMES GAZEUX mélangés à 1 vol. d'eau formée H^2O	TEMPÉRA- TURE de combustion T	$\frac{Q}{T}$	CHALEUR spécifique de la vapeur d'eau $\times (1 + \sigma')$.	CHALEUR spécifique des gaz simples.
6	29 XI, 5	O 0,735 Vap. 0,03	2830	30,4	15,4	6,8
7	29 XI, 3	H 0,764 Vap. 0,03	2800	30,7	15,3	7,06
8	17 VII, 3	O 1,435 Vap. 0,09	2430	23,9	14,8	6,36
9	29 XI, 7	O 1,485 Vap. 0,045	2460	23,5	14,3	6,20
10	12 VII, 2	H 1,44 Vap. 0,09	2490	23,5	14,9	6,0
11	29 X, 2	O 3,00 Vap. 0,03	1970	29,4	12,4	5,7
12	18 VI, 2	O 0,285 Az 2,62 Vap. 0,09	1930	29,7	13,1	5,7
13	24 X, 3	H 1,19 Az 1,87 Vap. 0,06	1950	29,7	12,7	5,7
14	24 X, 2	Az 2,77 O 0,23 Vap. 0,06	1980	29,6	12,7	5,6
15	26 X, 1	Az 2,90 O 0,25 Vap. 0,06	1990	30,0	12,6	5,5
16	26 X, 2	Az 2,85 O 0,25 Vap. 0,06	2040	28,4	13,0	5,6
17	26 X, 3	Az 2,83 O 0,24 Vap. 0,24	2000	29,0	12,8	5,3
18	19 VI, 1	Az 3,07 O 0,33 Vap. 0,10	1770	32,9	12,5	6,9
19	17 VI, 4	Az 3,14 O 0,41 Vap. 0,10	1720	33,6	12,4	6,0
20	26 X, 4	Az 3,35 O 0,55 Vap. 0,09	1540	37,5	11,6	5,3

NUMÉ- ROS.	DATES.	VOLUMES gazeux mélangés à 1 vol. d'eau formée H ² O	TEMPÉRA- TURE de combustion T	$\frac{Q}{T}$	CHALEUR spécifique de la vapeur d'eau $\times (1 + \sigma')$.	CHALEUR spécifique des gaz simples.
21	25 X, 1	H 2,64 } Az 1,92 } 4,56 Vap. 0,09	1580	36,7	11,8	5,5
22	24 X, 7	Az 4,38 } O 0,66 } 5,04 Vap. 0,09	1510	38,4	11,6	5,3
23	24 X, 6	H 3,43 } Az 1,87 } 5,30 Vap. 0,09	1470	39,4	11,4	5,3
24	25 X, 3	Az 5,01 } O 0,83 } 5,84 Vap. 0,10	1300	44,5	10,7	5,8
25	25 X, 4	H 4,26 } Az 2,99 } 6,25 Vap. 0,10	1280	45,2	10,6	5,5

Les nombres de la dernière colonne de ce tableau ont été portés sur la *fig. 3*, Pl. XVII, en prenant pour abscisses les températures et pour ordonnées les chaleurs spécifiques. Comme on devait s'y attendre d'après la manière dont ils ont été obtenus, les chiffres obtenus ne sont pas très concordants. Ils accusent cependant une augmentation très nette de la chaleur spécifique des gaz simples avec la température. Le résultat est donc d'accord sur ce point, avec celui que nous avons déduit de nos premières mesures. Toutefois le taux même de cet accroissement paraît plus faible que celui que nous avons indiqué autrefois; nous avons en effet (*) admis pour la chaleur spécifique des gaz parfaits, le chiffre de 7,5 à 2000°, tandis que nos nouvelles déterminations nous donnent seulement 6 à cette température.

Le fait de l'accroissement de la chaleur spécifique des gaz parfaits avec la température est en opposition avec

(*) C. R. — 12 décembre 1881.

les idées reçues. Il est donc bon de discuter avec soin les preuves sur lesquelles on peut se fonder pour en affirmer la réalité.

Pour une expérience quelconque, dans laquelle le volume des gaz simples est v' , le volume de la vapeur de saturation v'' , on aura en désignant la chaleur spécifique du gaz simple par C_g , et, pour simplifier, $t \times 10^{-3}$ par T'

$$C_g = \frac{1}{v'} \left[\frac{58,2}{T'} - (1 + v'') (5,6 + 3,28 T') \right]$$

$5,6 + 3,28 T'$ étant la chaleur spécifique de H^2O .

En prenant la différentielle, il vient

$$dC_g = - \frac{1}{v'} \left[\frac{58,2}{T'^2} - (1 + v'') 3,28 \right] dT'.$$

Appliquons par exemple aux expériences 20 (25 X, 4) et 21 (25 X, 1). On a

	C_g	$T,$
20	5,8	1,540
21	5,4	1,580

Pour que la chaleur spécifique des gaz parfaits conserve, à toute température, la même valeur qu'à zéro, il faudrait que C_g fût égal à 4,9 dans les deux expériences. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait faire dC_g égal à $-0,9$ dans l'exp. (20), à $-0,6$ dans l'exp. (21). L'équation précédente montre qu'il faudrait en conséquence augmenter t de 140° pour (20), et de 94° pour (21). Nous ne pensons pas que de semblables erreurs soient compatibles avec nos expériences, d'autant plus que nos températures devraient être augmentées, et nous croyons avoir montré qu'elles ont été calculées par excès.

On peut d'ailleurs vérifier le fait de l'accroissement de la chaleur spécifique des gaz parfaits avec la température de trois façons différentes :

1° En se servant des expériences faites sur la combustion du cyanogène brûlant pour oxyde de carbone, puisque

cette combustion ne donne alors comme produits que des gaz parfaits ;

2° En se servant des expériences faites en mêlant des gaz parfaits au mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène ;

3° Enfin en utilisant les expériences faites sur la combustion du formène CH^4 .

Les expériences (4 XI, 3) et (14 VII, 1) faites avec le cyanogène donnent, pour la chaleur spécifique des gaz parfaits (azote et oxyde de carbone), la première 7,2 à 2500°, l'autre 6,9 à 2480°. Nos expériences avec l'hydrogène et l'oxygène ont donné 6,2 à 2460°, et 7 environ à 2800°.

Il est vrai que dans les premières expériences il s'est formé un peu d'acide carbonique ; mais la quantité formée est faible, et si l'on en tenait compte, on trouverait pour la chaleur spécifique des gaz parfaits un nombre encore plus grand.

Les expériences faites sur la combustion du mélange tonnant ($\text{CO} + \text{O}$), additionné de gaz parfaits donnent les résultats contenus dans le tableau suivant.

NUMÉ- ROS.	DATES.	VOL. GAZEUX mélangés à 1 volume de CO^2 formé.	T	$\frac{Q}{T}$	CHALEUR spécifique de CO^2 .	CHALEUR spécifique du gaz parfait mélangé.
4	28 X, 2	CO 2,90 Vap. 0,06	1980°	34,4	13,6	7,0
8	27 X, 2	O 2,98 Vap. 0,06	1920	35,5	13,5	7,1
11	26 X, 2	Az 2,79 O 0,22 } 3,01 Vap. 0,06	1980	34,4	13,6	6,7
12	26 X, 1	Az 2,49 O 0,57 } 3,06 Vap. 0,06	1920	3,55	13,5	7,0
14	23 VI, 2	Az 3,57 O 0,44 } 4,01 Vap. 0,10	1670	40,8	12,9	6,7

aurait dû observer si, en admettant pour CO^2 et H^2O les chaleurs spécifiques déterminées plus haut, on supposait la chaleur spécifique des gaz parfaits constante et égale à 4,9. L'impossibilité de cette supposition résulte clairement de la comparaison de T et de T_1 .

Les résultats de nos expériences concourent ainsi à montrer que la chaleur spécifique des gaz parfaits augmente réellement avec la température; mais ces résultats ne sont pas assez concordants pour qu'on en puisse tirer la loi qui régit cet accroissement.

Nous avions autrefois adopté une expression de la forme

$$C_p = at^2,$$

dans laquelle d'ailleurs nous avions attribué à a une valeur plus forte que celle qui résulterait des nombres précédents. La seule raison de cette forme insolite donnée à l'expression de C_p , et à laquelle nous n'attachions d'ailleurs qu'une valeur purement empirique, était de ne pas contredire la variation nulle ou faible que les observateurs avaient constatée aux températures ordinaires.

Maintenant que nous trouvons aux hautes températures des chaleurs spécifiques moins élevées qu'autrefois, nous représenterons les expériences d'une manière tolérable par la formule plus simple

$$C_p = 4,8 + 0,0006 t, \quad (5)$$

qui donne

à	0°	4,8
à	100	4,86
à	200	4,92
à	1000	5,4
à	2000	6,01
à	3000	6,6

L'augmentation, entre 100° et 200°, n'est que de 0,06, soit 1,2 p. 100. Elle nous paraît compatible avec les données de l'expérience.

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

a. Chlore et acide chlorhydrique.

On trouvera dans le tableau suivant les valeurs de $\frac{Q}{T}$ de nos expériences sur la combustion du chlore par l'hydrogène.

Mélanges de chlore et hydrogène.

NOS.	DATES.	VOLUMES GAZEUX mélangés à 1 volume de Cl H.	T	$\frac{Q}{T}$
1	7 XII, 1	H 0,03 Vap. 0,03	2430	9,02
2	23 XII, 3	Cl 0,33 Vap. 0,02	1690	13,6
3	23 XII, 1	H 1,20 Vap. 0,03	1690	13,0
4	22 XII, 3	H 1,32 Vap. 0,03	1530	14,5

Les seules expériences qui puissent être considérées comme exemptes de dissociation sont celles des nos 3 et 4. L'expérience 4 donne, pour chaleur spécifique, à 1500°, un mélange contenant 1' Cl H + 1',32 H, le nombre 6,1, tel que la formule (5) donne, à cette même température pour les gaz parfaits, une chaleur spécifique égale à 6,1. L'expérience 3 donne une chaleur spécifique de 5,76 à 1500°, tandis que la formule (5) donne 5,8. Les différences sont peu considérables, ce qui nous permet de dire que l'acide chlorhydrique, dont la chaleur spécifique est, à la température ordinaire, égale à celle des gaz parfaits, l'est encore égale au dessus de 1500°.

L'expérience n° 1 faite avec le mélange tonnant de Cl et H, donne une température T égale à 2430°, et, s'il n'y avait pas de dissociation, il faudrait admettre que la chaleur spécifique de l'acide chlorhydrique est, à cette température,

égale à 12,1. Cette conséquence est évidemment inadmissible, d'après le résultat qu'on vient de tirer des expériences 3 et 4. Il en faut donc conclure que l'acide chlorhydrique éprouve, au-dessus de 1500° à 1600°, une dissociation notable.

Supposons, en effet, que 1 étant le volume total, ϵ soit la fraction combinée ; appelons en outre C' la chaleur spécifique du chlore et C la chaleur spécifique de l'acide chlorhydrique, qui doit être environ 7 à la température de 2430° et qui est d'ailleurs égale à celle de l'hydrogène ; Q étant la chaleur de combinaison, nous aurons

$$Q\epsilon = \epsilon CT + \left(\frac{1-\epsilon}{2}\right) CT + \left(\frac{1-\epsilon}{2}\right) C'T = \frac{1+\epsilon}{2} CT + \frac{1-\epsilon}{2} C'T$$

puisque, la combinaison se faisant sans changement de volume, le volume du gaz formé est ϵ .

Si l'on admettait $C = C'$, l'équation se simplifierait et deviendrait

$$Q\epsilon = CT$$

d'où l'on déduirait

$$\epsilon = C \cdot \frac{T}{Q} = \frac{7}{9,02} = 0,77.$$

Le volume combiné serait donc 0,23.

Mais la dissociation n'est sans doute pas aussi grande que celle qui résulterait de notre calcul, car il est très vraisemblable que la chaleur spécifique du chlore qui dépasse déjà de 1,76 celle des gaz parfaits à la température de 0°, croît avec la température beaucoup plus que ne le font les gaz parfaits, de sorte que C' est beaucoup plus grand que C .

Supposons, par exemple, pour fixer les idées, $C' = 15$ à 2430°, en attribuant à C' la loi d'accroissement la chaleur spécifique de l'hydrogène, on trouverait

$$\epsilon = 0,85$$

d'où

$$1 - \epsilon = 0,15.$$

Cette hypothèse de l'accoissement de la chaleur spécifique du chlore avec la température est fortement appuyée par l'expérience n° 2 faite avec un excès de chlore. Cette expérience donne, en effet, $\frac{Q}{T} = 13,6$, à 1620° . La chaleur spécifique de l'acide chlorhydrique étant environ 6 à cette température, il s'ensuit que, s'il n'y avait pas de dissociation, la chaleur spécifique du chlore à 1620° serait, en tenant compte de la petite quantité de vapeur d'eau,

$$\frac{13,6 - 6}{0,33} = 22,4.$$

La dissociation, s'il en existe une, ne peut pas dépasser celle de l'expérience n° 1, soit au plus 0,15 si, ce qui est exact comme nous l'allons voir, la chaleur spécifique de chlore n'est pas inférieure à 15. Admettons ce chiffre, certainement exagéré, il y aura, après la combustion, 0,85 Cl H, 0,075 H, 0,405 Cl, et l'on pourra écrire

$$\frac{Q}{T} = 13,4 = 0,96 + 0,405 \times C'$$

d'où l'on déduit

$$C' = 19,5.$$

La chaleur moléculaire du chlore, à 1620° , est donc comprise entre 19,5 et 22. L'accroissement, de 0° à 1620° , serait ainsi compris entre 12,9 et 15,4, soit, pour 1000° , entre 7,1 et 8,3. Cet accroissement est plus de deux fois supérieur à celui de la vapeur d'eau qui n'est que de 3,28 entre les mêmes limites.

Il y aurait eu un grand intérêt à multiplier les expériences faites avec excès de chlore; malheureusement le chlore attaquait énergiquement toutes les parties de l'appareil, de sorte que nous avons été obligés de renoncer à ces recherches.

3. TEMPÉRATURES DE COMBUSTION ET QUANTITÉS DE GAZ DISSOCIÉES DANS LE CAS OU IL Y A DISSOCIATION.

Connaissant les chaleurs spécifiques des gaz à haute température, il semble que nous pouvons utiliser les pressions développées par la combustion telles que les donne l'expérience, pour calculer dans les cas où il se produit une dissociation, la température de combustion et la quantité de gaz dissociée à cette température.

Malheureusement ces calculs ne peuvent guère s'appliquer utilement qu'aux mélanges gazeux qui contiennent de l'acide carbonique. Or nous ne connaissons la chaleur spécifique de ce gaz qu'au-dessous de 2000° , c'est-à-dire au-dessous des températures auxquelles la dissociation se produit. Pour les températures supérieures à 2000° , nous ne pouvons que nous servir d'une loi d'extrapolation, naturellement fort incertaine.

Nous avons examiné pour la chaleur spécifique de l'acide carbonique, trois formules d'extrapolation différentes. L'une est donnée par la formule parabolique représentée sur la *fig. 3*, Pl. XVIII. Nous l'avons rejetée à cause de la valeur maxima qu'elle assigne à la chaleur spécifique vers 2500° . L'autre est obtenue en reliant par une formule linéaire les deux valeurs de la chaleur spécifique à 0° et à 2000° . Elle s'accorde mal avec la valeur de la chaleur spécifique à 200° , et de plus elle conduirait à une dissociation nulle pour le gaz tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène, ce qui est contraire à l'expérience. Nous adopterons donc la troisième expression

$$c_0 = 4,33 \times \tau'^{0,367},$$

dans laquelle τ' est la température absolue divisée par 100. Cette formule est représentée sur la *fig. 3*, Pl. XVII, par la courbe en trait plein.

Cette équation, qui ne contient plus que T , peut être résolue aisément en essayant successivement différentes valeurs de T . Ayant T et par conséquent $\tau = T + 273$, l'équation (3) fait connaître la valeur de k .

C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres des deux dernières colonnes du tableau suivant :

DATES.	VOLUMES gazeux ajoutés à 1 vol. de CO + O	h	θ_0	$\frac{\Pi}{h} \cdot \frac{\tau_0}{273}$	T	k	OBSERVATIONS.
30 VI, 2	Vap. 0,012	76,0	10°	9,95	3130°	0,61	Mélange tonnant avec l'air.
8 V, 2	CO ² 0,48 Vap 0,02	77,1	14°	8,18	2590	0,98	
28 X, 1	CO 0,51 Vap. 0,02	73,1	11°	9,5	2646	0,83	
23 VI, 3	Az 1,27 Vap. 0,05	76,4	18°	8,6	2460	0,96	

Nous ne pousserons pas plus loin ces calculs qui n'auraient pas grande utilité en raison de l'incertitude qui règne sur les vraies valeurs des chaleurs spécifiques de l'acide carbonique au-dessus de 2000°.

Nous ferons remarquer seulement que si l'on considère les expériences (30 VI, 2), (28 X, 1) et (23 VI, 3), et si on cherche au moyen de ces trois points à se faire une idée de la forme de la courbe qui représenterait k en fonction de T , on voit qu'on serait conduit à admettre $k = 0$, c'est-à-dire une dissociation totale vers 3400°; et $k = 1$, c'est-à-dire une dissociation nulle vers 2000°. Cette dernière conclusion est conforme à l'expérience. La variation de k , d'abord très rapide entre 3400° et 3000°, serait ensuite très lente entre 3000° et 2000°.

CHAPITRE III.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Après être entré dans tous les développements nécessaires pour faire connaître le procédé d'expérimentation, ainsi que les calculs laborieux qui nous ont permis de tirer parti des données de l'observation, il est utile de résumer brièvement les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus.

Nous avons d'abord constaté dans une première série de recherches infructueuses, que les pressions développées pendant la propagation de la combustion dans un mélange gazeux sont, au contact même de la zone enflammée, supérieures à la pression statique qui résulterait de la dilatation produite sous l'influence de la température de combustion. Avant de se communiquer à toute la masse, l'accroissement de pression concentre en quelque sorte son action sur la tranche au contact. Cet effet est d'autant plus sensible que la propagation est plus rapide.

Dans une autre série de recherches, faites avec un appareil enregistreur, nous avons pu obtenir des tracés graphiques représentant, par un trait continu, la loi de variation, avec le temps, de la pression qu'exerce une masse gazeuse combustible en repos, enfermée dans une enceinte close, depuis le moment où l'inflammation est provoquée au centre de la masse jusqu'au moment où le gaz brûlé est revenu à la température de l'enceinte.

Lois de refroidissement des gaz. — Nous avons pu suivre ainsi la marche du refroidissement d'un gaz ou

d'une vapeur de composition connue, en vase clos, partant d'une température qui s'est élevée dans certains cas à plus de 4000° , pour s'abaisser à la température ambiante. Nous avons étudié le phénomène avec grand soin, et nous avons reconnu que la loi du refroidissement varie beaucoup suivant la nature du gaz.

Si le gaz est permanent, c'est-à-dire n'éprouve pas de condensation pendant le refroidissement, ou n'éprouve qu'une condensation partielle très faible, la vitesse de refroidissement est correctement représentée par une expression de la forme

$$\frac{d\theta}{dt} = a\varepsilon + b\varepsilon^2,$$

ε étant à chaque instant l'excès de la température du gaz sur celle de l'enceinte.

Les coefficients a et b ne sont pas très différents pour les divers gaz permanents, CO^2 , O , Az , CO .

Le coefficient a paraît à peu près indépendant de la pression, autant qu'on en peut juger d'après nos expériences, qui ne présentent de garanties d'exactitude qu'aux températures élevées pour lesquelles le terme $a\varepsilon$ a peu d'importance.

Le coefficient b diminue lorsque la densité du gaz augmente, et réciproquement.

La même formule s'applique encore lorsqu'à une vapeur condensable comme la vapeur d'eau, vient s'ajouter dans le mélange gazeux un gaz extrêmement conducteur comme l'hydrogène, de sorte que l'influence refroidissante du gaz permanent reste prépondérante. Mais dans ce cas les coefficients a et b ont naturellement des valeurs très différentes de celles qu'elles ont dans le premier.

Lorsque le gaz est complètement condensable, et formé par exemple en totalité par de la vapeur d'eau, la loi que suit la chute de pression est représentée assez correctement depuis la pression la plus élevée jusqu'aux plus

—

—

dissociation sensible à la température de 1500° . Ce fait était très important, car il était en opposition avec les idées qu'avaient généralement adoptées les chimistes après les travaux de Deville.

Les courbes de refroidissement nous ont permis de constater avec précision que lorsqu'une masse d'acide carbonique, portée à la température de combustion, se refroidit en vase clos, la dissociation qui a pris naissance au moment de la combustion, va en s'atténuant sans cesse, par la recombinaison des éléments, jusqu'à ce que la température *moyenne* des gaz atteigne 1800° environ. C'est au moins ce qui se produit lorsque la densité de l'acide carbonique est telle qu'il exerce, dans l'enceinte qui le contient une pression de 50 centimètres de mercure environ à la température de 15° .

La température *moyenne* du gaz, au moment où la dissociation prend fin, varie avec la densité et diminue avec elle. Elle n'est plus que de 1600° lorsque la pression du gaz à la température ordinaire est de 28 centimètres, et de 1160° seulement, lorsque cette pression n'est plus que de 13 centimètres.

Nous avons pu reconnaître aussi l'influence, sur la dissociation de l'acide carbonique, des gaz qui lui sont mélangés.

Lorsque ces gaz sont CO, O, Az, ils agissent comme si on diminuait la pression de l'acide carbonique, et la température moyenne à laquelle la dissociation finit, est abaissée, toutes choses égales d'ailleurs. L'effet est plus marqué avec l'azote qu'avec les deux autres gaz ; plus marqué avec l'oxygène qu'avec l'oxyde de carbone.

Quant à la vapeur d'eau, nous n'avons pu reconnaître l'existence d'une dissociation quelque peu notable. Il se peut que la dissociation soit masquée par la vitesse de condensation ; en tout cas, elle doit être très faible encore à 3300° , qui est la température de combustion, en vase clos, du mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène.

Nous n'avons pas non plus constaté de dissociation sensible de l'oxyde de carbone, soit que cette dissociation soit très faible encore vers 3 ou 4000°, soit qu'elle ne donne pas lieu à une variation de température notable, soit enfin que la recombinaison se fasse d'une manière assez lente pour que l'effet qu'elle produit échappe à notre procédé d'observation.

La dissociation de l'acide chlorhydrique n'est pas visible sur nos courbes de refroidissement, mais nous avons pu déduire la dissociation de ce gaz vers la température de combustion, de la comparaison entre cette température, la chaleur spécifique des gaz et la chaleur de combinaison.

Températures de combustion à volume constant. — En utilisant pour les corrections nécessaires, les données acquises sur la loi de refroidissement, nous avons pu déterminer pour chacun des nombreux mélanges expérimentés par nous, la pression que développe la combustion en vase clos.

De la valeur de cette pression nous avons déduit, lorsqu'il n'y avait pas de dissociation, la *température de combustion*.

Cette température est obtenue en admettant que le mélange gazeux, tel qu'il résulte de la combustion, obéit aux lois de Mariotte et de Gay-Lussac. C'est en effet ce qu'il semble permis d'admettre, au moins dans les limites d'approximation que comportent nos expériences. M. Crafts a d'ailleurs vérifié directement le fait pour l'acide carbonique jusque vers 1500°.

Voici quelques-unes des températures de combustion que nous avons déterminées. Elles se rapportent à des mélanges gazeux saturés d'humidité à la température ordinaire. Nous donnons, non pas les températures directement obtenues par l'expérience, mais celles que l'on en déduit au moyen des courbes continues qui représentent

les moyennes de toutes les observations. Les écarts entre ces courbes et les nombres expérimentaux ne dépassent pas 60°.

	$\frac{\Pi}{h} \cdot \frac{\tau_0}{273}$	T	
O + O	9,9	3130°	0,61 gaz combiné.
O + O + 1,5 CO ²	7,1	1980°	
Id. + 2,25 CO ²	6,2	1616°	
Id. + 0,75 CO ²	9,5	2646°	0,83 gaz combiné.
Id. + 0,94 Az ²	8,6	2460°	0,96 id.
Id. + 2,9 CO	7,4	1980°	
Id. + 2,98 O ²	7,2	1920°	
Id. + 3,0 Az ²	7,2	1960°	
Id. + 4,0 Az ²	6,6	1670°	
2 Az ² + O ²	16,4	4190°	
C ² Az ² + O ² + 3,75 Az ²	12,0	2500°	
H ² + O	9,0	3350°	
H ² + O + 0,75 (O ² , H ²)	8,7	2830°	
Id. + 3,0 (Az ² , O ² , H ²)	7,3	1930°	
Id. + 6,0 (Az ² , O ² , H ²)	5,5	1320°	
Id. + 2,25 CO ²	"	1550°	
Id. + 3,0 CO ²	"	1300°	
Cl + H	8	2430°	
l + H + 2,4 H	"	1630°	
Id. + 0,66 Cl	"	1620°	
CH ⁴ + 2,8 O ² + 10,5 Az ²	6,96	1660°	
CH ⁴ + 2,37 O ² + 8,9 Az ²	8,33	1870°	
CH ⁴ + 2,0 O ² + 7,24 Az ²	9,34	2150°	

Les températures de combustion que nous avons mesurées sont celles d'un mélange gazeux brûlant en vase clos. Les températures de combustion ordinaires sont celles d'un mélange gazeux qui peut se dilater en brûlant, la pression restant constante. Nous verrons tout à l'heure comment on peut les évaluer.

Chaleurs spécifiques des gaz. — Lorsqu'un mélange gazeux brûle sans éprouver de dissociation, on peut relier par une équation simple la chaleur de combinaison, la température de combustion et la chaleur spécifique

moyenne, entre cette température et zéro, des gaz qui subsistent après la combustion. Connaissant par nos expériences la température de combustion, et la chaleur de combinaison étant donnée par les tables de M. Berthelot, nous avons pu calculer, pour les mélanges où nous avons pu constater l'absence de la dissociation, la chaleur spécifique moyenne, entre 0° et la température de combustion, du produit gazeux plus ou moins complexe de la combustion.

Acide carbonique. — On peut s'arranger pour que les produits gazeux de la combustion ne contiennent qu'une seule espèce de gaz. C'est à quoi on arrive, par exemple, en ajoutant de l'acide carbonique au mélange tonnant d'oxyde de carbone et d'oxygène. Dans ce cas, l'observation de la température de combustion donne la chaleur spécifique de l'acide carbonique entre 0° et des températures, variables avec la quantité d'acide carbonique ajoutée, mais voisines de 2000°.

Nous avons pu ainsi déterminer, avec quelque précision, la chaleur spécifique moléculaire moyenne de l'acide carbonique vers 2000°, et établir qu'elle est égale à 13,6. En combinant cette donnée avec la valeur de la même chaleur spécifique à 0°, et son accroissement moyen entre 0° et 200°, on arrive à représenter la chaleur spécifique moyenne entre 0° et 200° par une formule d'interpolation.

On peut prendre une formule parabolique à trois termes, qui a l'inconvénient de donner, vers 2500°, un maximum dont l'existence n'est nullement établie.

On peut aussi prendre une formule exponentielle qui, donnant presque exactement entre 0° et 2000° les mêmes valeurs que la formule parabolique, contient un coefficient de moins. Cette formule est la suivante, dans laquelle τ est la température absolue,

$$c_p = 4,33 \cdot (\tau \cdot 10^{-3})^{0,297}.$$

Elle est très voisine de la formule encore plus simple

$$c_v = 4,74 \sqrt[3]{t \cdot 10^{-3}},$$

qui s'accorde assez bien avec les nombres donnés entre 0° et 200°, par M. L. Wiedmann.

Vapeur d'eau.— Nous avons établi que la vapeur d'eau ne se dissocie pas, ou ne se dissocie que très peu à la température de combustion en vase clos, c'est-à-dire à 3350°. L'observation de cette température nous a donc permis de calculer la chaleur spécifique de la vapeur d'eau à 3350°, et nous l'avons trouvée égale à 16,6. En comparant ce nombre avec la chaleur spécifique entre 100° et 200° mesurée par Regnault et la loi d'accroissement de cette chaleur spécifique entre 0° et 100° telle qu'elle résulte d'expériences, malheureusement très indirectes, de M. Winckelmann, nous avons pu représenter la chaleur spécifique moléculaire moyenne de la vapeur d'eau, pour les températures comprises entre 0° et 3300°, par la formule empirique linéaire

$$c_v = 5,61 + 3,28 t \cdot 10^{-3}.$$

La chaleur spécifique de la vapeur d'eau à 2000° est égale à 12,2, et celle de l'acide carbonique à la même température est égale à 13,6. La différence n'est pas très considérable, et l'on peut en conclure que les chaleurs spécifiques de ces deux gaz, qui ne diffèrent pas beaucoup entre elles à 0°, restent encore peu différentes l'une de l'autre à 2000°, malgré l'augmentation très considérable qu'elles subissent l'une et l'autre.

La détermination des températures de combustion du gaz obtenu, en ajoutant de l'acide carbonique au mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, nous a permis de comparer entre elles, à des températures inférieures à 2000°, les chaleurs spécifiques de la vapeur d'eau et de l'acide

leurs spécifiques des gaz ajoutés. On constate ainsi une augmentation notable de la chaleur spécifique des gaz parfaits qui passerait de la valeur de 4,8 vers 0°, à la valeur de 7 environ vers 2000°. Toutefois ces expériences sont suspectes. D'une part en effet on n'est jamais certain, avec de semblables mélanges, de n'avoir pas de dissociation, d'autre part la lenteur de la propagation donne lieu à des corrections toujours un peu incertaines.

Nous avons fait ensuite un grand nombre d'expériences en ajoutant des gaz parfaits, Az, O, H, au mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène. Les expériences sont beaucoup meilleures, non seulement parce que l'absence de la dissociation est certaine, de l'autre parce que la propagation est rapide, et la correction, sinon plus faible, au moins plus assurée. En partant de la chaleur spécifique de la vapeur d'eau telle qu'elle avait été déterminée plus haut, chaleur plutôt prise par excès, puisque nous avons négligé la dissociation à 3300°, nous avons encore trouvé pour la chaleur spécifique des gaz parfaits des valeurs croissantes avec la température.

Nous avons encore déduit l'augmentation de la chaleur spécifique des gaz parfaits des expériences faites en brûlant le cyanogène avec l'air pour oxyde de carbone. Nous avons deux expériences régulières et suffisamment concordantes, donnant pour la chaleur spécifique des gaz parfaits, la valeur de 2500°. Il est vrai que dans cette combustion il se forme une certaine quantité, relativement faible, d'acide carbonique, mais cette circonstance paraît plutôt de nature à élever qu'à abaisser le chiffre que nous avons trouvé.

Enfin les expériences faites sur la combustion du formène (CH^4) sont d'accord avec les précédentes pour montrer que les chaleurs spécifiques des gaz parfaits sont plus grandes aux températures élevées qu'à la température ordinaire.

Nous sommes donc arrivés à conclure, contrairement à l'opinion universellement reçue, que les chaleurs spéci-

DISTRIBUTION DES MÉLANGES GAZEUX.

Les faits augmentent avec la température, mais moins rapidement que celles des autres

audissons vivement que cette conclusion, mais pour la première fois en 1882, ait été prouvée, confirmée par les travaux de M. Ber-

de la variation constatée, elle ne peut être faite avec beaucoup de réserves. Entre 0° et 1000° elle s'écarterait cependant pas beaucoup d'être exprimée par

$$c = 4,8 + 0,0006t.$$

On voit avec quelle rapidité les chaleurs spécifiques parfaites vont en s'écartant de celles des gaz parfaits que la température augmente.

	0°	1000°
le	4,8	6,0
.	5,6	12,2
.	6,3	13,6

hydrogène. — Nous avons fait un certain nombre d'expériences avec les mélanges de chlore et d'hydrogène. Elles nous ont amenés à conclure que la chaleur spécifique du chlorure d'hydrogène est encore sensiblement la même que celle des autres gaz parfaits, à la température

et ce chiffre de celui de la température de combustion du mélange tonnant, nous en avons conclu que le chlorure d'hydrogène éprouve une dissociation, mais que dans le voisinage de la température de combustion du mélange tonnant, c'est-à-dire vers 2400° environ.

Enfin d'une expérience faite sur un mélange d'hydrogène avec excès de chlore, nous avons

pu conclure que la chaleur spécifique du chlore subit, avec la température, une augmentation du même ordre que celle qui a été constatée pour les gaz non parfaits, tels que la vapeur d'eau et l'acide carbonique.

Températures de combustion à pression constante.

— Les chaleurs spécifiques à volume constant des principaux gaz étant connues; on peut s'en servir pour résoudre une question des plus importantes dans les applications de toutes sortes, c'est-à-dire pour calculer les températures de combustion, soit en vase clos, soit à pression constante, d'un mélange explosif dont les éléments sont formés par deux ou plusieurs des gaz H , O , Az , CO , CO^2 , H^2O , à la conditions toutefois que la combustion ne soit pas accompagnée d'une dissociation.

Pour calculer les températures de combustion en vase clos, il suffira de prendre les valeurs des chaleurs spécifiques résultant des formules précédentes, et de les combiner avec les chaleurs de combustion.

Lorsqu'il s'agit de combustions à pression constante, telles qu'elles ont lieu dans les foyers ordinaires, il faudra diminuer de 1,96 les chaleurs spécifiques données par les formules. On trouve alors les nombres suivants :

Températures de combustion à pression constante.

$H^2 + O$	3200°
$H^2 + O + 1,882 Az^2$ (mélange tonnant avec air).	2000°
$CO + O + 1,882 Az^2$ (id. id.).	2115°? (Dissociation probable)
$CH^4 + 2O^2 + 7,70 Az^2$ (id. id.).	1860°

Considérations théoriques. — La détermination des températures de combustion, dans des cas très variés, n'est pas le seul intérêt de nos expériences, et nous désirons, en terminant, appeler l'attention sur l'importance théorique que présente le fait, bien certain, de l'accrois-

COMBUSTION DES MÉLANGES GAZEUX.

tinu des chaleurs spécifiques gazeuses avec la température.

Après la publication de nos recherches, on ne connaissait pas la chaleur spécifique d'aucun gaz au-dessus de 200°. Dans ses mémorables travaux, M. Dulong avait constaté que la chaleur spécifique de l'acide carbonique croît notablement entre 0° et 200°, mais que celle des gaz parfaits reste dans les mêmes limites.

M. Dulong a été à peu près universellement d'accord pour l'accroissement de la chaleur spécifique de l'acide carbonique avec la température à ce fait que ce gaz est, à température ordinaire, assez voisin de son poids de 1. On supposait que cet accroissement devait s'atténuer et disparaître à mesure que la température s'élevait, le gaz se rapprochant alors de cet état ou moins vaguement défini, qui constituerait le gaz parfait.

C'est ainsi que M. Bunsen, après avoir déterminé pour l'acide carbonique, à plusieurs fois, avec quelque approximation, une température de combustion, était amené à attribuer à l'effet de la température un phénomène qui, pour la plus grande partie, se rapportait à une augmentation de la chaleur spécifique.

M. Dulong avait appelé l'attention sur la possibilité d'un accroissement continu, avec la température, de la chaleur spécifique de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Plus tard, nous avons constaté la réalité de cet accroissement et nous en avons mesuré la grandeur. Nous avons montré que cet accroissement continu des chaleurs spécifiques gazeuses avec la température n'est pas limité aux gaz sur lesquels on l'avait constaté entre 0° et 200°, comme l'acide carbonique, ou sur lesquels on l'avait seulement soupçonné, comme la vapeur d'eau; mais qu'il existe encore, quoiqu'avec une rapidité moindre,

avec les gaz dits parfaits, pour lesquels elle est insensible entre 100° et 200° .

Cet accroissement de la chaleur spécifique est ainsi commune à tous les gaz, et l'une des propriétés considérées comme essentielles à l'état gazeux idéal doit disparaître de la science.

Il n'y a pas, il nous semble, à s'en étonner beaucoup. L'état gazeux est en effet régi par deux lois, celles de Mariotte et de Gay-Lussac. Ces lois sont évidemment des conséquences de la nature des actions intermoléculaires, et de l'espèce particulière de mouvement que prend le centre de gravité des molécules sous l'action de la chaleur. C'est la nature de ces actions et l'espèce de ce mouvement qui sont heureusement expliquées par la célèbre hypothèse de Bernouilli, et qui pourraient peut-être être expliquées ou définies par d'autres hypothèses équivalentes.

Mais si les propriétés gazeuses qui ne dépendent que des actions intermoléculaires et du mouvement des centres de gravité moléculaires peuvent être considérées comme bien connues, sinon rationnellement et complètement expliquées, il en est tout autrement des propriétés qui tiennent à la nature de ce petit édifice complexe, et très mystérieux encore, auquel nous donnons le nom de *molécule*. La molécule des gaz est vraisemblablement tout aussi complexe que celle des solides, et la manière dont elle se comporte sous l'influence de la chaleur ne nous est pas mieux connue dans un cas que dans l'autre. La simplicité des lois des gaz s'arrête donc, si l'on peut s'exprimer ainsi, au seuil de la molécule.

Voilà pourquoi nous ne pouvons connaître qu'expérimentalement, sans qu'il nous soit permis de faire appel à aucune théorie, la manière dont la chaleur spécifique des gaz varie avec la température. Cette chaleur spécifique, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur fournie, à l'accroissement de température qui en résulte, dépend en

COMBUSTION DES MÉTIERS VÉGÉTAUX

lement de l'accroissement de température ou du centre de gravité, mais encore de l'accroissement de la force vive de la molécule par rapport à son centre de gravité.

On peut cependant essayer de pouvoir établir une relation entre la force vive intérieure de la molécule et celle de son centre de gravité.

Soit (*) l'énergie totale d'une masse gazeuse à la température absolue, C_v la chaleur spécifique vraie à volume constant, on a

$$\frac{dU}{dT} = C_v \quad (1)$$

et que C_v ne varie pas avec la température, l'intégration simple donne

$$U - U_0 = C_v(T - T_0), \quad (2)$$

ce qui prouve que la variation de l'énergie totale d'un gaz est proportionnelle à la température absolue.

On voit en outre : 1° qu'au zéro absolu, l'énergie totale est nulle, ce que l'on peut refroidir le gaz jusqu'à ce zéro.

2° que l'équation fondamentale $\frac{dU}{dT} = C_v$ cesse d'être applicable, on aura évidemment

$$U = C_v T. \quad (3)$$

On voit donc que si C_v est connu dans le second membre, si C_v est connu, on connaîtra U , c'est-à-dire l'énergie totale du gaz, c'est-à-dire la somme de la force vive du centre de gravité et l'énergie intérieure de la molécule. On trouve ainsi que dans un gaz parfait l'énergie intérieure de la molécule est la même que la force vive de translation.

On n'a peut-être pas suffisamment remarqué, il nous semble, que la relation (3) est formellement démentie par l'expérience.

Supposons par exemple qu'on mette en présence une molécule d'oxygène et deux molécules d'hydrogène à 0°. La quantité d'énergie des trois molécules serait

$$3 \times 4,8 \times 273 = 3930 \text{ calories.}$$

Or, au moyen d'une étincelle électrique, c'est-à-dire en ajoutant à l'énergie totale du gaz une quantité d'énergie très faible et négligeable, on provoque la combinaison qui produit deux molécules de vapeur d'eau. Ces deux molécules contiendraient à zéro

$$2 \times 5,6 \times 273 = 3060 \text{ calories}$$

et en outre on a recueilli 116.400 calories.

Le système initial, soustrait à toute force extérieure, aurait donc vu son énergie totale croître subitement d'une façon énorme.

Le raisonnement qui nous a conduits à cette conséquence est donc inexact, et l'intérieur d'une molécule gazeuse doit contenir une énergie totale beaucoup plus considérable que celle qui résulterait de l'équation (3); cette énergie intérieure au lieu d'être la moitié de la force vive de translation, est en réalité au moins quarante fois plus grande, et peut être même beaucoup plus considérable encore.

L'équation (3) est en effet déduite de deux principes, dont l'un paraît très contestable, et l'autre est certainement faux. Le premier, c'est que les gaz peuvent être refroidis jusqu'au zéro absolu, en gardant toutes les propriétés qu'ils possèdent à la température ordinaire. Le second, dont l'inexactitude ressort de notre travail, c'est que la chaleur spécifique des gaz est invariable avec la température.

Il faut remarquer que, la température d'un gaz étant définie par la force vive du centre de gravité, dire que la chaleur spécifique croît avec la température, c'est dire que l'énergie totale croît plus vite que la force vive du centre de gravité. Ce phénomène paraîtra moins surprenant si, conformément à ce que nous venons de dire, on admet que la force vive du centre de gravité n'est qu'une fraction très petite de l'énergie totale.

Quoi qu'il en soit, il est bien certain que c'est l'observation directe qui peut seule nous faire connaître celles des propriétés des gaz qui dépendent de la nature et de l'arrangement intérieur de la molécule. Aucune théorie ne nous fait même entrevoir la vérité sur ce point.

L'étude des variations des chaleurs spécifiques gazeuses avec la température, est, sous ce rapport, l'une des plus importantes et probablement des plus fructueuses qu'on puisse se proposer. L'imperfection de nos expériences sur ce sujet n'est que trop évidente. Nous croyons cependant qu'elles auront servi utilement à établir quelques faits importants, et à jeter quelque lumière sur une route encore peu explorée. Nous espérons, en tous cas, qu'on voudra bien leur tenir compte de ce qu'elles ont été les premières en date.

NOTE ADDITIONNELLE.

M. *Neyreneuf*, professeur à la Faculté des sciences de Caen, a écrit à M. le président de la Commission des *Annales des Mines* pour se plaindre que nous ayons omis, dans notre travail sur la propagation de la flamme, de mentionner ses propres recherches sur le même sujet, et pour demander que cette omission soit réparée.

Quoique nous soyons surpris que M. *Neyreneuf* n'ait pas cru préférable de s'adresser directement à nous pour une semblable réclamation, nous allons lui accorder la satisfaction qu'il demande.

M. Neyreneuf, en faisant brûler des mélanges gazeux explosifs dans des éprouvettes, ou dans des tubes, enduits entièrement de paraffine, a constaté, par l'examen des empreintes laissées sur cette substance, que la combustion est accompagnée par des vibrations.

Quant à ce qui regarde la loi même de la propagation de la combustion, à l'existence d'une période de propagation sans vibration avec vitesse constante, à l'influence des vibrations sur la vitesse de propagation, c'est-à-dire en somme ce qui fait l'objet propre, et même le seul objet de nos recherches, voici, dans les diverses notes des *Comptes rendus*, publiées par M. Neyreneuf, la seule phrase qui y ait trait; nous la transcrivons textuellement (*):

« Mais l'état de vibration agit aussi sur l'énergie de la combustion et, par suite, sur sa puissance de refoulement. Nous verrons plus loin des effets de cette modification d'énergie que l'on peut vérifier directement par l'expérience suivante. Un mélange formé de 1 CO et de 1 O (**) brûle sans bruit et avec une grande lenteur dans une éprouvette à gaz ordinaire; la combustion est, au contraire, très rapide, si on la produit dans un tube de plus petit diamètre, mais tel que l'inflammation à l'ouverture produise des vibrations sonores (***). »

MM. Schlœsing et Demondésir avaient, longtemps avant M. Neyreneuf, dans un travail que nous avons souvent cité, constaté, d'une façon bien plus précise, l'influence de l'agitation des gaz sur la vitesse de propagation.

(*) Sur la lumière stratifiée. — *C. R.*, 91, p. 322 (1880).

(**) Dans une réclamation de priorité déjà adressée contre nous à l'Institut en 1882, M. Neyreneuf se borne à transcrire à peu près intégralement cette phrase, mais il remplace ici O par air.

(***) Le travail paru en 1875 dans les *Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen*, et dont nous n'avions d'ailleurs aucune connaissance avant l'envoi qui nous en a été fait récemment par M. Neyreneuf, n'est pas plus explicite. Il en est de même d'un mémoire publié dans les *Annales de chimie et de physique*.

Fig. 6. Courbes analogues à celles de la fig. 5. L'élément comb

Pl. XVII.

Fig. 1. Courbe analogue à celle des fig. 5 et 6, Pl. XVI. L'élément est H, l'élément comburant Cl.

Fig. 2. Courbe analogue à celle de la fig. 1. L'élément comburant est l'air.

Fig. 3. Courbes représentant la loi de variation, avec la température spécifiques moléculaires à volume constant, de et des gaz parfaits.

Pl. XVIII.

Fig. 1. Appareil destiné à mesurer, au moyen du manomètre Bourdon, les pressions développées par la combustion

	Pages
2° Méthode de tube.	306
<i>Pointage au compteur à seconde</i>	<i>306</i>
<i>Enregistrement électrique</i>	<i>307</i>
Description de l'appareil.	308
<i>Enregistrement pneumatique</i>	<i>310</i>
Principe.	310
<i>Enregistrement photographique.</i>	<i>312</i>
III. RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.	314
1° Mouvement uniforme.	315
<i>Influence de la nature des parois.</i>	<i>318</i>
<i>Influence du diamètre des tubes.</i>	<i>319</i>
<i>Influence de la température du mélange gazeux.</i>	<i>321</i>
<i>Influence de la nature et de la proportion des gaz mélangés.</i>	<i>321</i>
Hydrogène et air.	322
Formène et air	324
Gaz d'éclairage et air.	326
Sulfure de carbone et air.	326
Oxyde de carbone et oxygène.	327
Hydrogène et oxygène.	328
Formène et oxygène.	329
Sulfure de carbone et oxygène	329
Sulfure de carbone et bioxyde d'azote.	330
Hydrogène et chlore.	330
2° Mouvement vibratoire.	331
Durée du mouvement vibratoire.	331
Amplitude des vibrations.	332
Période des vibrations.	332
Vitesse moyenne de propagation pendant le mouvement vibra- toire.	333
3° Onde explosive.	335
4° Extinction spontanée.	338
5° Influence de la position du point d'inflammation.	339
VI. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.	341
1° Propagation par conductibilité.	343
Limite d'inflammabilité	346
<i>Influence de la température initiale.</i>	<i>348</i>
<i>Influence du diamètre des tubes</i>	<i>348</i>

	Page
<i>Influence de l'agitation</i>	349
Mouvement saccadé	350
Extinction spontanée	351
<i>Influence du volume de la source de chaleur.</i>	353
2 ^e Période du mouvement vibratoire.	355
3 ^e Propagation par compression ou onde explosive. . .	357
V. APPLICATION PRATIQUES	361
<i>Explosion de grisou.</i>	361
<i>Indicateurs de grisou.</i>	364
<i>Appareils de sûreté à treillis métallique.</i>	365
Lampe Davy.	367
Lampe Mueseler.	368
Appareils de laboratoire	368
<i>Bec Bunsen.</i>	372
VI. Résumé.	374
Explication des planches VIII, IX, X, XI.	377

TROISIÈME MÉMOIRE

SUR LES TEMPÉRATURES DE COMBUSTION ET LES CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

INTRODUCTION.	379
-----------------------	-----

CHAPITRE I.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES AVEC LE MANOMÈTRE DEPREZ.

Description de l'appareil.	383
Incertitude des résultats donnés par l'observation.	391
Causes des anomalies constatées par l'observation.	393

CHAPITRE II.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES AVEC LE MANOMÈTRE
ENREGISTREUR BOURDON.

PREMIÈRE PARTIE.

PROCÉDÉS D'OBSERVATION.

	Pages.
Description de l'appareil employé.	396
Graduation du manomètre.	399
Durée d'une vibration du manomètre	402
Détail d'une observation.	402

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.

I. — Phénomènes chimiques.	405
Précautions prises pour la préparation du gaz.	405
Mélanges combustibles formés par l'hydrogène	406
— — — l'oxyde de carbone	406
— — — le cyanogène.	407
— — — le grisou	408
II. — Étude des tracés graphiques.	409

1° PÉRIODE DE REFROIDISSEMENT NORMAL.

Procédé de mesure des ordonnées de la courbe de refroidissement. . .	411
Relevé de l'expérience (4 XI, 3).	414
Recherche d'une expression représentant la chute de pression	416
Expression de la vitesse de refroidissement.	418
Définition de la température du gaz.	420
Uniformité de la loi qui régit la vitesse de refroidissement	423
Relevé de l'expérience (4 XI, 2). Constatation de la dissociation	423
Refroidissement de gaz permanents.	426
Expression de la vitesse de refroidissement de l'acide carbonique. Influence de la densité du mélange gazeux	426
Comparaison de nos formules avec les données connues sur la conductibilité des gaz.	430

TABLE DES MATIÈRES.

Recherche de la perte de température subie pendant la durée D_r de la propagation avec refroidissement	
III. — Pressions développées par la combustion et températures de combustion.	
Procédé employé pour la détermination de la pression maxima H développée par la combustion	
Cas des gaz permanents.	
Cas des gaz entièrement condensables.	
— partiellement condensables.	
Correction relative au refroidissement qui se produit pendant cette période de propagation dont la durée est égale à D_r	
Vérification du procédé de correction employé	
Pressions finales rapportées à un mélange initial de température 0° , dont la pression est prise pour unité	
Calcul donnant la température de combustion.	
RÉSULTATS DONNÉS PAR L'OBSERVATION.	
I. Mélanges combustibles formés par l'oxyde de carbone.	
1° Mélange tonnant $CO + O$	
2° Mélanges $CO + O + pCO^2$	
3° Mélanges $CO + O + pCO$	
4° Mélanges $CO + O + pO$	
5° Mélanges $CO + O + p\text{air}$	
II. Mélanges formés avec le cyanogène.	
III. Mélanges dans lesquels l'hydrogène est l'élément comburant	
Mélange tonnant $H^2 + O$	
Mélanges $H^2 + O + p$ gaz parfaits	
Mélanges $H^2 + O + pCO^2$	
VI. Chlore et hydrogène	
V. Mélanges formés avec CH^4.	
IV. — Chaleurs spécifiques des gaz.	
1° CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ POUR DES TEMPÉRATURES PEU DIFFÉRENTES DE LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE.	
Principes généraux	
Chaleurs spécifiques des gaz parfaits	

	Page
Chaleur spécifique de l'acide carbonique	316
Chaleur spécifique de la vapeur d'eau.	318

2° VALEURS DES CHALEURS SPÉCIFIQUES TIRÉES DE NOS EXPÉ- RIENCES. 320

Procédé employé pour le calcul.	320
Égalité des chaleurs spécifiques des gaz parfaits jusqu'à 3000°. — Invaria- bilité des chaleurs spécifiques avec la pression.	322
a. <i>Acide carbonique</i>	321
b. <i>Vapeur d'eau</i>	326
c. <i>Gaz parfaits</i>	329
d. <i>Chlore et acide chlorhydrique</i>	336

3° TEMPÉRATURES DE COMBUSTION ET QUANTITÉS DE GAZ DIS- SOCIÉES DANS LE CAS OU IL Y A DISSOCIATION. 339

CHAPITRE III.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS. 342

Lois de refroidissement des gaz	342
Dissociation.	344
Températures de combustion à volume constant.	346
Chaleurs spécifiques des gaz.	347
<i>Acide carbonique</i>	348
<i>Vapeur d'eau</i>	349
<i>Gaz parfaits</i>	350
<i>Acide chlorhydrique</i>	352
<i>Chlore</i>	352
Températures de combustion à pression constante.	353
Considérations théoriques.	353

NOTE
SUR UN ACCIDENT

SURVENU LE 12 JUILLET 1883

AU Puits DES ROSIERS

(CONCESSION DE QUARTIER-GAILLARD, LOIRE.)

Le 12 juillet 1883, le piqueur Portes, du puits des Rosiers, concession du Quartier-Gaillard (Loire), a été blessé par les flammes d'un coup de mine, dans des circonstances qui présentent un certain intérêt. Cet ouvrier était employé, ainsi que son camarade Blanc, à l'avancement d'une remonte située dans le banc supérieur de la huitième couche, à l'étage moyen des travaux. La remonte avait 8 mètres de longueur et une largeur de 3 mètres; la puissance du banc supérieur dans la région est de 2 mètres et son inclinaison de 18°.

L'abatage avait lieu à la poudre, à cause de la nature du charbon, nerveux et très dur. A 0^m,80 du parement gauche et à 0^m,90 du toit, le piqueur Blanc avait percé un coup de mine A dont la direction prolongée venait, comme l'indique le croquis (Pl. XVIII, fig. 2), passer très près de l'angle de droite de l'entrée de la remonte. Le coup profond de 1 mètre environ, fut chargé de 375 grammes de poudre, recouverts de 30 à 40 centimètres d'un bo

constances de l'accident conduit à rejeter la supposition de la présence du grisou.

En premier lieu, il fut impossible de découvrir, pendant les journées qui suivirent le 12 juillet, la moindre trace de gaz dans la remonte, dans le niveau et même dans les chantiers voisins, tant du banc supérieur que du banc inférieur. D'autre part, le coup de mine avait été retrouvé intact, sauf un très léger écornement à l'entrée, et une nouvelle hypothèse se présentait, celle du débouillage du coup.

L'examen des bois montrait que les flammes avaient occupé l'espace représenté sur le croquis (Pl. XVIII, *fig. 2*) par les hachures croisées ; les trois cadres les plus rapprochés du front de taille ne présentaient aucune marque de brûlure, tandis que les suivants portaient des grains de coke frittés, ainsi que des exsudations résineuses, surtout dans le voisinage du parement de droite de la remonte, c'est-à-dire dans le prolongement de la direction du coup. Au point R, où cette direction venait rencontrer le parement du niveau, en une région où se trouvait le remblai d'une ancienne remonte, on distinguait une quantité notable de poussières frittées et d'exsudations sur les bois contenus dans le remblai. En remontant le courant d'air dans le niveau, on les apercevait encore assez nettement sur les cadres de ce niveau, surtout du côté gauche de celui-ci. Ces témoins se trouvaient répartis à peu près également sur les faces amont et aval des bois.

Il n'y avait certainement pas de gaz dans le niveau au moment de la déflagration ; en effet, on a exploré minutieusement une cloche située en M, et constaté que les bois de son quadrillage n'avaient pas été atteints. Ils portaient encore, à la partie supérieure, de petits dépôts absolument intacts de poussières fines, ce qui n'aurait évidemment pas eu lieu si cette cloche et les intervalles des chapeaux avaient été remplis de grisou.

La supposition d'un dégagement instantané au front de

[REDACTED]

NOTE SUR UN ACCIDENT SURVENU LE 12 JANVIER 1883

, coïncidant avec le débouillage du coup, ne se soutient
l'avantage. M. l'ingénieur des mines Laurans a, pour la
ôler, fait pousser l'avancement de la remonte, sans
oyer la poudre, jusqu'au delà du fond du trou, en
e temps qu'on creusait le toit en forme de cloche, pour
oir le gaz capable de se dégager. On n'en a pas aperçu
ant ce travail, qui a été suivi avec le plus grand soin,
massif a été trouvé très sain et dénué de cavités ou
idents d'où aurait pu s'échapper un dégagement in-
ané.

ute explication basée sur la présence du grison étant
ée, on se trouve en présence de la suivante.

coup de mine, fortement chargé et percé dans un
on très dur, a fait canon; les gaz de la poudre, ains:
ceux produits par l'inflammation du bourrage, ont
é un cône de projection qui est venu frapper contre la
d'en face du niveau, pour rebondir vers le Nord, à
de sa direction oblique et de la faible vitesse de
nt d'air (0^m,50 à 0^m,60). Au moment où le jet de
ne arrivait dans le niveau, il a dû se produire un tour-
qui a soulevé les poussières assez abondantes de la
et leur a permis de s'enflammer plus ou moins.

est à noter que cette région de la mine est poussière-
, chaude et très sèche.

l'appui de cette manière de voir, on peut citer une
ience faite par MM. les ingénieurs de la mine quel-
emps après l'accident. Un coup de mine, percé dans
roi d'une galerie au rocher (grès dur), chargé de
grammes de poudre et bourré avec du poussier pris
le chantier de l'accident, a fait canon et s'est réfléchi
e la paroi opposée, les gaz et les matières entraînées
nt un chemin tout à fait semblable à celui qui avait
uivi par le jet de flamme du 12 juillet, ainsi qu'il
est assuré à l'aide de témoins en papier.

ccident qui vient d'être relaté est une preuve de plus

de ce fait déjà connu, que les flammes d'un coup de mine peuvent, en présence de poussières de charbon, s'étendre à une distance assez considérable ; dans le cas présent occupe, elles ont parcouru 8 mètres dans la remonte et 12 mètres au moins dans le niveau avec un changement brusque de direction. Afin d'éviter le renouvellement d'accidents de personnes dus à une étendue pareille des flammes, il a été convenu avec les ingénieurs de la mine qu'ils prendraient à l'avenir les mesures ci-après :

1° Éviter les charges de poudre trop fortes, ainsi que les bourrages charbonneux ;

2° Faire retirer les ouvriers dans le niveau, à une trentaine de mètres de distance au moins, au moment de l'allumage des coups.

L'arrosage présente des difficultés pratiques à cause desquelles on n'a pas cru devoir le recommander, en l'absence du grisou.

10 mars....	Raffineries à Paris.	donnant accès à la vapeur et l'autre servait à évacuer la lessive et la vapeur. — Timbre probable 2 k. (illisible). — éprouve. — ntaire timbre Section du de vapeur n du tuyau t de la sou- pe de sûreté 7 et 11 c. q.	Le fond supérieur s'est soulevé en restant fixé d'un côté au cylindre.	Un ouvrier légèrement brûlé. Quelques dégâts matériels.	Exès de pression qui a pu se produire par suite d'une disposition défectueuse; l'appareil pouvait être isolé de la soupape destinée à y limiter la pression.
10 avril.....	Fabrique de noir animal au Bourget (Seine).	Récepteur cylindrique vertical de 2 m. 50 de hauteur sur 2 m. 50 de diamètre. — Pas d'éprouve. — Une soupape de sûreté pouvait être séparée de l'appareil par la manœuvre d'un robinet.	Un ouvrier, après avoir fermé l'admission, voulait resserrer le joint en agissant sur la poignée de la vis au moyen d'une forte clef servant de levier, mais la barrette se brisa et le tampon fut projeté.	Un ouvrier brûlé mortellement.	Exès de pression par suite de l'obstruction du tuyau d'évacuation. — Ce reste de pression aurait été très faible s'il y avait eu une soupape de sûreté.
11 avril.....	Exploitation agricole à Crépigny-en-Laonnois (Aisne).	Chaudière à deux bouilleurs intérieurs et flamme descendante. — Timbre 5 atm.	Déchirement de la tête supérieure du bouilleur de gauche en arrière de la première communication; il s'est fait une ouverture rectangulaire de 0 m. 37 sur 0 m. 41.	Chaudière légèrement brûlée.	Corrosion externe des bouilleurs par suite d'humidité dans les carneaux.
31 mai.....	Bateau « J. B. Say » sur l'Avre (Seine-Inférieure).	Générateur cylindrique à foyer intérieur muni de 116 tubes en laiton de 75 m/m de dia-	Le tirant s'est rompu suivant un des filets de la vis, côté de la boîte à feu, les bou-	Deux mécaniciens atteints par la vapeur et l'eau bouillante.	Rupture d'un tirant à vis placé pour remplacer un tube et dont le métal a présenté un

2 septembre.	Chantier de travaux (pont) près Cagnas (Alpes-Maritimes).	Chaudière de locomobile cylindrique avec foyer prismatique.	Le métallier a reçu des brûlures et des contusions graves. — Deux ouvriers ont été légèrement blessés.	Etat d'usure de la chaudière. — Il est possible que l'accident, devenu imminent même sous la pression ordinaire, aie été déterminé par un excès de pression provenant de la surcharge des soupapes.
3 octobre...	Mines à Roche-le-Moelleux (Loire).	Chaudière cylindrique horizontale à foyer extérieur avec un bouilleur latéral. — La forme l'extrémité d'arrière du condrier. — La sole de ce condrier se trouve à 0m,40 au-dessus du bas du bouilleur dont un segment est caché par la maçonnerie. — Longueur du corps 12m,88; diamètre 2m,35. — Longueur du bouilleur 10m,40. — Diamètre 1m,00. — Dernière épreuve en 1880. — Timbre à k. 600.	Un ouvrier blessé mortellement; trois autres légèrement atteints.	Corrosion du fond embouti qui était engagé dans la maçonnerie du condrier, maintenant humide par l'eau qu'on y jetait lors des déchargements.
19 octobre.	Forges à Parrière-la-Grande (Nord).	Chaudière horizontale cylindrique à deux foyers de chauffe.	Couverts tous; huit des attelages grièvement.	Quelques profondes corrosions extérieures produites à la partie inférieure du bouilleur dans une région emprisonnée dans la maçonnerie.

DATE de l'accident.	NATURE et situation de l'établissement où l'appareil était placé.	NATURE forme et destination de l'appareil. Détails divers.	CIRCONSTANCES de l'accident.	CONSEQUENCES de l'accident.	CAUSE PRÉSUMÉE de l'accident.
7 décembre.	Usine pour le traitement des matières résineuses à Boquefort (Landes).	Chaudière cylindrique de 8 ^m , 00.	La chaudière s'est partagée en la bri- par la s tôles o; au- tout la tôle supérieure qui s'est déchirée. — (La veille de l'accident une fissure s'était produite et avait été bouchée avec du plomb; elle est comprise dans l'une des lignes principales de rup- ture).	Néant.	Mauvais état de la chaudière — Usure ou corrosion. — Fissure déclarée la veille de l'accident.
13 décembre	Forges à Ivry (Seine).	Chaudière verticale chauffée par les flammes perdues d'un four à réchauffer. — Hauteur 13 ^m , 30.	La partie inférieure, sur une hauteur de 8 ^m , 30, est restée avec la chaudière en briques.	Un ouvrier contusionné sans gravité. Dégâts matériels importants.	Manque d'eau.
28 décembre	Distillerie à Bourbourg (Nord).	Cylindres chauffés par les flammes perdues d'un four à réchauffer. — Hauteur 13 ^m , 30.	La tôle du coup de feu du bouilleur de droite s'est ouverte brusquement en tour- nant autour de la rivure comme charnière et venant à appliquer contre le bouil- leur de gauche. — La ligne de cassure s'est prolongée dans la rivure des deux tôles.	Un ouvrier légèrement brûlé.	Formation d'une épaisse couche de boue dans la région du coup de feu.

29 décembre / Scierie à Vierzon - Ville (Cher).

Chaudière cylindrique horizontale avec deux bouilleurs-réchauffeurs latéraux superposés. — Corps : diamètre 0^m,90 ; longueur 4^m,40. — Bouilleurs : diamètre 0^m,60 ; longueur 4^m,40. — Le foyer est sous le corps de chaudière. — Les gaz, après avoir chauffé la moitié inférieure du corps, longent le bouilleur supérieur, puis le bouilleur inférieur. — Epreuve en 1880. — Timbre 6 k.

Le bouilleur supérieur s'est rompu en trois fragments. Nombres déchirures sur la première virole ; la seconde s'est seulement ouverte suivant sa ligne de rivure longitudinale.

Dégâts matériels considérables.

La rupture est due en grande partie à la mauvaise qualité de la tôle. — Les causes accessoires n'ont pu être mises en évidence par l'enquête, l'ingénieur n'ayant eu connaissance de l'accident que longtemps après sa date.

NOTE

SUR

LE BASSIN HOILLER DE TETE

(RÉGION DU ZAMBÈZE).

Par M. E. LAPIERRE, ingénieur civil des mines.

Dans le cours de l'année 1881, une expédition dont je fais partie fut envoyée en Mozambique, pour étudier les ressources minéralogiques de la contrée et spécialement les mines d'or et les gîtes de charbon qui y avaient signalés. De Quilimane, point de débarquement, l'expédition se rendit à Tete, centre du principal gisement houiller, en remontant d'abord la rivière de Quilimane jusqu'à Inhandoa (voir la carte, Pl. XIX, *fig.* 6), puis le Quilimane jusqu'à Mopéa, et enfin le Zambèze après avoir gagné le fleuve par terre, car il n'y a pas de communication entre lui et la rivière de Quilimane.

A la hauteur de Mopéa, le Zambèze mesure plus de 3 kilomètres de largeur; son lit et ses berges sont exclusivement formés d'un sable fin dans lequel l'examen à la loupe fait découvrir beaucoup de feldspath, des fragments de quartz, de roches amphiboliques, du mica, et du fer oxydulé en très grande abondance; il n'y a pas de traces de calcaire. Au-dessus de Mopéa, le terrain, jusqu'alors, devient plus accidenté: on aperçoit des

Étendue du bassin. — L'étendue qu'occupe la formation houillère le long du cours du Zambèze paraît extrêmement considérable ; nous l'avons vue se poursuivre sans interruption des gorges de Lupata à Tete ; en amont de cette ville, des affleurements de houille existent dans un certain nombre d'affluents de la rive droite du fleuve, le Rio Mufa, l'Inhamoenga, l'Inhacamba et le Cacoudé. Cette dernière rivière coule à 20 lieues de Tete, au-dessous des rapides de Kebrabasa, rapides déterminés par un pointement de roches éruptives.

Au delà des rapides, le docteur Livingstone a rencontré des couches de houille dans les plaines basses de Chicova ; il signale aussi des affleurements de charbon en aval, au village de Mboma sur le Chiré, par 16° 56' de latitude.

En coordonnant ces observations, on peut très raisonnablement admettre que le bassin houiller existant à Chicova s'allonge parallèlement au Zambèze. Déchiré par les roches éruptives qui ont produit les rapides de Kebrabasa, il reparait en aval de ces rapides, et vient jusqu'à la chaîne de la Lupata, où il est traversé de nouveau par les porphyres postérieurs qui constituent cette chaîne. En deçà de la Lupata, il disparaîtrait sous les grès rouges permien ou triasiques de Sena, émergerait ensuite dans la vallée du Chiré, et s'arrêterait contre le massif granitique de la Morumbala. La coupe (*fig. 7*, Pl. XIX) représente cette hypothèse.

Peut-être cependant les terrains houillers de Chicova et du Chiré constituent-ils des bassins indépendants de celui dont Tete occupe le centre ; ce dernier s'arrêterait alors, d'une part à la Lupata, de l'autre à Kebrabasa, suivant le cours du Zambèze sur une étendue de plus de 160 kilomètres.

Je n'ai pas de données suffisantes pour en déterminer la largeur, mais elle doit être considérable, car à la hauteur du point où le Muarase tombe dans le Zambèze, j'en ai

noirs, gris foncé ou jaunâtres ; quelques-uns sont parsemés de veinules de houille. J'y ai trouvé la flore caractéristique de la formation houillère : des Calamites, des Annularia, plusieurs variétés de Fougères, des Sigillaires, des Cordaïtes, etc. (*).

J'ai remarqué un schiste franchement jaune que j'ai trouvé à 1 ou 2 mètres au toit d'une couche de charbon : il contient une assez forte proportion de chlorure de sodium. Les indigènes, pour qui le sel marin est une denrée rare et précieuse, exploitent ce schiste en plusieurs endroits ; après l'avoir grossièrement pilé, ils le mettent dans des vases en terre à fond percé de petits trous, et versent dessus de l'eau qu'ils recueillent et dont ils extraient le sel par évaporation.

Qualité de la houille. — La houille, qui forme dans ce bassin des couches de puissance très variable, depuis 30 à 40 centimètres jusqu'à 12 et 14 mètres, appartient à la catégorie des houilles demi-grasses à longue flamme ; elle donne au creuset 22 à 25 p. 100 de matières volatiles et un coke assez bien fondu, mais peu dense. Elle brûle avec une flamme claire et longue, qui la rendrait propre au chauffage des chaudières tubulaires. Elle est assez collante pour être employée à la petite forge. L'absence, ou la rareté des pyrites dans ce combustible, rend les cendres très blanches. Malheureusement ces cendres sont très abondantes, et les différentes incinérations que nous avons faites nous en ont constamment donné 12 à 15 et jusqu'à 18 p. 100. .

Les assises du terrain houiller sont ordinairement peu inclinées ; les pentes de 10 à 12° sont les plus ordinaires ; ces angles ne sont dépassés qu'au contact des diorites, qui

(*) Voir plus loin, p. 534, la note de M. Zeiller sur cette flore.

des autres ; la première, la plus puissante, a 2^m,50 à 3 mètres d'épaisseur en un seul banc. La seconde, d'une épaisseur de 4 mètres, compte, séparés les uns des autres par de minces bancs, huit sillons de houille de bonne qualité, dont le plus important a 80 centimètres d'épaisseur ; plus loin on découvre une couche de 1 mètre en un seul banc ; plus loin encore, une veine de 0^m,40 de puissance.

D'autre part, en remontant le Muarase, à partir du même village de Pondé, on voit, au sud de Chipasse, deux affleurements, l'un de 1^m,95, l'autre de 2^m,20 de puissance utile. On marche longtemps ensuite sans voir d'autres affleurements ; puis on en retrouve sept dans une bande de terrain houiller comprise entre deux masses dioritiques, près du village de Soussou. Ils sont malheureusement d'assez médiocre importance. Au delà, la diorite, puis les terrains primitifs.

Les couches que nous venons de passer en revue sont toutes dirigées N.-N.-O. à S.-S.-E. Leur inclinaison varie de 8 à 12°, et, à une seule exception près, elles pendent toutes vers le S.-O.

Couches du Moatise. — Si l'on part du confluent du Rovugo et du Moatise pour remonter cette dernière rivière (voir le plan, *fig. 2*, Pl. XIX), on rencontre d'abord une couche de houille de 1^m,40 de puissance, mais divisée par de nombreux filets de schistes, et ne donnant que du charbon terreux et de mauvaise qualité ; je ne m'y arrêterai pas. Un kilomètre plus loin apparaît une couche plus importante, mesurant 3^m,50 d'épaisseur, déchirée par un filon de diorite qui forme, dans la rivière, une cascade à paroi verticale de 10 mètres de hauteur ; cette couche est, au contact de la roche éruptive, déviée de sa direction et de son inclinaison normales, contournée violemment, et déchiquetée en tous sens par une série de petits rejets ; mais à 180 mètres en amont de la diorite, elle reprend une

de même puissance, sous toit de grès, à l'embouchure de de l'Inhacamba ; enfin un affleurement considérable, mais assez confus, apparaît sur l'Inharouca. Au delà de ce point, nous ne rencontrons plus de traces de charbon sur le Moatise, qui arrive bientôt à la diorite et aux terrains primitifs.

A 300 mètres environ en aval du point où l'Inhapsicondo aborde ces mêmes terrains primitifs, affleure, dans le lit même de la rivière où elle détermine une série de petites cascades, une couche de 12 à 13 mètres d'épaisseur que j'ai nommée *couche de l'Inhapsicondo*. Elle a trois sillons, un toit de schiste, et point de grès ni dans le toit ni dans le mur. Le charbon en est bon, mais d'une grande dureté. Sa direction présente une anomalie à noter : elle va de l'O. 22° N. à l'E. 22° S. avec inclinaison de 12° vers le S.-E., tandis que toutes les couches du Moatise, à l'exception d'une seule qui a été déchirée par la diorite, ont des directions comprises entre N. 15° O. à S. 15° E. et N. 30° O à S. 30° E. avec pente de 10 à 12° vers le N.-E. Peut-être faut-il aussi attribuer à la diorite, qu'on aperçoit dans le voisinage, un changement d'allures si complet.

Il serait assurément intéressant de savoir quelles relations peuvent exister entre les couches du Moatise et celles du Moarase ; mais le pays est si vaste, d'un accès si difficile, et le temps que j'ai pu consacrer à ces études si restreint, que je n'ai pas recueilli de données suffisantes pour hasarder seulement une hypothèse.

Quoi qu'il en soit, les faits que j'ai observés prouvent la richesse de ce bassin houiller, dont je n'ai parcouru qu'une faible partie.

NOTE SUR LA FLORE DU BASSIN HOUILLER DE TETE.

Pecopteris cyathea. Schloth. (sp.) — Se présente dans les mêmes conditions que le précédent.

Pecopteris unita. Brongt. — Une penne stérile parfaitement caractérisée.

Pecopteris polymorpha. Brongt. — Plus de penes extrêmement nettes.

Callipteridium ovatum. Brongt. (sp.) — Quelques fragments de penes, bien reconnaissables à la forme et à la nervation des pinnules.

Alethopteris Grandini. Brongt. (sp.) — Plusieurs échantillons en excellent état de conservation.

Annularia stellata. Schloth. (sp.) — Absolument conforme au type figuré par Schlotheim.

Sphenophyllum oblongifolium. Germ. et Pr. (sp.) — Je rapporte à cette espèce un *Sphenophyllum* incomplètement représenté, dont les feuilles, profondément divisées, rappellent un peu le *Sph. saxifragæfolium*, mais s'élargissent rapidement de manière à présenter un contour ovale; cette forme correspond bien, du reste, aux feuilles divisées de *Sph. oblongifolium*, figurées par M. H. Benitz dans sa Flore houillère de la Saxe.

Sphenophyllum majus. Brongt. (sp.) — Quelques feuilles, à bord malheureusement mal conservé, ne peuvent être attribuées qu'à cette espèce en raison de leur taille et de la disposition de leurs nervures : elles répondent exactement à la forme à feuilles entières représentée par H. Benitz sous le nom de *Sph. longifolium*.

Cordaïtes borassifolius. Sternb. (sp.) — Je rapporte à cette espèce des fragments de feuilles de Cordaïtes offrant très régulièrement une seule nervure fine intermédiaire entre deux nervures plus fortes.

Calamodendron cruciatum. Sternb. (sp.) — Un fragment de tronc cannelé et articulé présente tous les caractères de cette espèce.

dron crenatum, des *Lepidostrobus*, des *Halonias*, des *Sigillaria* et des *Stigmarias*, ensemble d'espèces qui pondrait à l'étage houiller moyen. Ces couches sont recouvertes, en stratification discordante (*), série des couches triasiques de Karoo (*Karoo formation*) dont l'étage inférieur (*Ekka beds*) appartient encore au permien.

Ainsi les mêmes espèces qui vivaient en E l'époque houillère se sont étendues jusqu'en l'Afrique, et l'Afrique a possédé, comme l'Europe, flores houillère moyenne et houillère supérieure, risées par les mêmes groupements de formes spécifiques. Cette uniformité dans la végétation de deux régions tenant à deux hémisphères différents de notre globe d'autant plus digne d'attention qu'à la même époque le même parallèle à peu près que le Cap, ou plus exactement à une latitude intermédiaire entre le Cap et la r Zambèze, vivait en Australie un ensemble d'espèces complètement différent, ainsi qu'en témoigne la flore des de charbon exploitées dans l'État de Queensland et Nouvelle-Galles du Sud.

Mais laissons de côté la région australienne considérer que la région, beaucoup plus étendue, semble du moins par les documents paléontologiques nous possédons, qui comprend, avec le continent presque tout l'hémisphère boréal, et qui était o l'époque houillère par une flore d'une remarquable unité : nous savons en effet qu'en Chine, comme d l'Amérique du Nord, on retrouve dans le terrain les mêmes types spécifiques qu'en Europe.

Cette existence des mêmes espèces à toutes

(*) Ch. L. Griesbach, *On the geology of Natal in South Africa*, *Quarterly Journal*, t. XXVII, p. 65, 67.

BULLETIN.

ACTES DE COURAGE ET DE DÉVOUEMENT.

ACCIDENTS ARRIVÉS DANS LES MINES ET LES CARRIÈRES.

Extrait de rapports du ministre de l'intérieur approuvés par le Président de la République en 1883 (*).

NOMS Prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.		
			MÉDAILLES		MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.
			en or.	en argent.	
20 janvier 1883.					
PYRÉNÉES (BASSES-).					
			classes		
S (Michel-Édouard) sergent des logis à la compagnie de gendarmerie des Basses-Pyrénées. BUE-BADIOLE (Jean). gendarme à même compagnie.	Mines d'Arre, vallée d'Ossau, 18 nov. 1882	Ont sauvé, au prix des plus courageux efforts, trois mineurs ensevelis sous une avalanche de neige.		2 ^e	
				2 ^e	
16 février 1883.					
SARTHE.					
LELANNIER, agent-voyer de l'arrondissement de la Flèche.	Pontvallain, 4 déc. 1882.	S'est exceptionnellement distin- gué en organisant et en dirigeant, jour et nuit, pendant 60 heures, les dangereux travaux exécutés pour retirer d'un puits un homme qui y était enseveli sous un ébou- lement à 13 mètres de profondeur. N'a cessé de faire preuve du plus rare courage, dans la même circonstance, en occupant, pen- dant toute la durée des travaux, le poste le plus périlleux,	2 ^e		
				2 ^e	
VALNAY (Vincent), ouvrier puisatier à Courbe-sous-le-Lude.	Id.				

(*) Cet extrait fait suite à celui qui a été publié dans la 6^e livraison de 1882, p. 561.

NOMS prénoms et qualités.	LIEUX et dates.	ANALYSE des faits.	RÉCOMPENSES décernées.		
			MÉDAILLES		MENTIONS honorables. — LETTRES de félicitations.
			en or.	en argent.	
10 juillet 1883.					
NORD.			classes		
DUPRIEZ, ouvrier mineur. FONTAINES, ouvrier mineur.	Concession houillère d'Anzin, 2 février 1883.	Se sont résolument portés au secours de leurs camarades, lors d'une explosion de grisou.			Félicitations Id.
SAÔNE-ET-LOIRE.					
DOUHÉRET (Benoît), chef de poste.	Concession houillère de Blanzay, 1 ^{er} mars 1883.	A porté secours, au péril de sa vie, à un ouvrier mineur qui était tombé dans un puisard plein d'eau.		2 ^e	
14 août 1883.					
GARD.					
TRAIN (Jean), maître mineur. TEYSSIER (Régis), chef de poste. VIGNE (Joseph), chef de poste. GILLES (Edouard), boiseur. JOUGUET, directeur général des mines et usines de la compagnie de Terrenoire, maire de Bessèges.	Mines de Lalle, 24 avril 1883. Id.	Se sont particulièrement distin- gués, lors d'une explosion de gri- sou, en portant secours aux vic- times. S'est signalé dans les mêmes circonstances, en dirigeant, avec un entier dévouement, les opéra- tions de sauvetage.		2 ^e 2 ^e 2 ^e 2 ^e	Félicitations
PUY-DE-DÔME.					
DUFOUR, domicilié à La Sauvetat. DARCÈS, Id. MAILLÉ, Id. LARDIN, Id. RENAUD, Id.	Aubusson, 14 mars 1883.	Se sont signalés en coopérant aux travaux de sauvetage entrepris pour retirer un ouvrier enseveli sous un éboulement dans une car- rière souterraine.			Félicitations Id. Id. Id. Id.

21 décembre 1883 (suite).

BOUCHES-DU-RHÔNE.

		classes	Félicitations
HEYLAND (Crémond)			
ouvrier mineur.			
PENATY (Ange),			Id.
idem.			
GAUD (François),			Id.
idem.			
POURCHIER (Emile),			Id.
idem.			
BAILLE (Louis),	Mines de Trets	Se sont signalés à l'occasion du	Id.
idem.	23 févr. 1883.		Id.
FRANÇOIS (Baptiste),			Id.
idem.			Id.
BOCHETTY (Charles),			Id.
idem.			Id.
GERVAJONE (Paul),			Id.
idem.			

sion, l'avantage de la détente, qui produit un rafraîchissement énergique des chantiers, avantage capital quand on se trouve en présence de hautes températures.

Cette question de la température semble devoir désormais primer toutes les autres pour l'exécution des grands tunnels alpins : elle a donné lieu déjà à de nombreuses études, en vue des tunnels projetés du Mont-Blanc et du Simplon, et l'on a été conduit à indiquer des solutions entièrement nouvelles : M. Lommel conseillerait l'adoption de la galerie de base, mais à la condition de percer celle-ci d'un bout à l'autre avant tout élargissement, afin d'établir une ventilation naturelle ; M. Stockalper a proposé de percer deux galeries indépendantes, l'une au faite, l'autre à la base, et d'achever l'élargissement de la calotte et la construction de la voûte avant d'attaquer le stross.

Ces exemples suffisent à prouver que la question du choix à faire entre les diverses méthodes est loin d'être résolue une fois pour toutes, et que, si la méthode anglaise présente sur la méthode belge certains avantages, de rapidité et de facilité de travail, comme l'a établi M. Bridel, il ne faut lui donner la préférence que sous la réserve d'une étude approfondie des conditions thermiques qu'on doit rencontrer et qui peuvent exercer sur le choix du système de percement une influence prépondérante.

(Extrait de la brochure intitulée : Réponse de la Direction technique de l'entreprise du grand tunnel du Gothard, à la brochure de M. l'ingénieur en chef Bridel. Lausanne, 1883).

R. Z.

LE PERCEMENT DES TUNNELS ET LA CHALEUR SOUTERRAINE

Par M. G. REVAUX.

L'emploi des moyens mécaniques pour l'abatage des roches a réalisé, depuis son application au Mont-Cenis, des progrès considérables, et le problème de la traversée souterraine des massifs montagneux pourrait être considéré comme pratiquement résolu, s'il ne restait encore à vaincre l'obstacle peut-être le moins prévu à l'origine, c'est-à-dire l'accroissement de la température interne.

Trois tunnels ont été successivement percés à travers les Alpes :

BULLETIN.

soit de la plus courte distance n du point considéré à et il propose les formules suivantes :

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{41,6593 - 0,1517 h + 0,00011195 h^2} + 6,45 + 0, \\ \delta &= \sqrt{36,1682 - 0,1278 n + 0,000103 n^2} + 6,01 + 0,01 \end{aligned}$$

avec une approximation de $\pm 2,50$,
ou bien les formules plus simples :

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 0,02079 h \\ \delta &= 0,02157 n \end{aligned} \right\} \text{ avec une approximation de } \pm 4,95.$$

Ces quatre formules, appliquées à la partie centrale du Saint-Gothard, indiquaient des températures variant à $33^{\circ},06$, soit une moyenne de $31^{\circ},74$. La moyenne des observations a été de $30^{\circ},43$; l'écart est par suite de $1^{\circ},31$.

Ces formules ne sont données par l'auteur que pour des câbles à la traversée d'un seul massif montagneux, et celle d'une série de crêtes alternant avec des dépressions moins profondes. En effet, l'accroissement de température est plus rapide sous les vallées que sous les sommets. Au point du Gothard, sous l'arête du Kastelnarhorn, l'accroissement de température était de 1° par 56 mètres (température hauteur superposée, 1.717 mètres), tandis que, sous d'Andermatt, il était de 1° par 217,750 (température, 14' superposée, 305 mètres). Calculé dans des conditions semblables au Mont-Cenis, l'accroissement accuse 1° par 29 mètres sous les sommets, et par 29 mètres en vallée.

Par suite, les lignes isothermes, comptées à partir de la surface, sont plus espacées au passage des sommets qu'à celui des vallées; il s'ensuit qu'à une certaine profondeur il peut exister une ligne isotherme horizontale, bien qu'il y ait des différences de niveau dans le terrain superposé. Appliquant encore la formule à ce cas spécial pour une section du Saint-Gothard, l'auteur trouve qu'entre les profils 4.600 à 5.900 mètres de la galerie de la galerie de sud, pour des altitudes qui varient de 2.410 à 2.688 mètres hauteurs superposées de 1.250 à 1.528 mètres, et des températures (de la roche) de $28^{\circ},1$ à $30^{\circ},8$, il existait une ligne isotherme horizontale de $19^{\circ},8$ à l'altitude de 4.621 mètres, fait qui a été vérifié par l'observation directe des températures en divers points de cette ligne.

Cette ligne est une sorte de limite au delà de laquelle l'accroissement de température devient indépendant du relief du terrain. Les observations faites au Gothard donnent pour coefficient

Un nouveau projet, de 1882, se préoccupa exclusivement de la question thermique : il se proposait de passer autant que possible sous les vallées, en évitant les hauts massifs; dans ce but, le tracé comportait une ligne brisée, la brisure se trouvant à 4.500 mètres de l'entrée nord et formant un angle au sommet de 162°. La longueur totale était portée à 19.795 mètres. Les avantages principaux étaient de réduire à 2.292 mètres la hauteur maxima des massifs superposés, et de passer, à 6.000 mètres de la tête nord, et à 4.500 mètres de la tête sud, sous deux vallées, à 700 mètres seulement au-dessous du sol. La température était prévue de 34° à 37°.

Enfin, une dernière étude d'août 1882 modifie la précédente dans le sens suivant. La longueur est portée à 19.999^m,42, la brisure, à 5.260 mètres de la tête, fait un angle au sommet de 155°. Le maximum d'altitude atteint 2.750 mètres, mais à 300 mètres, de part et d'autre de ce point, on retombe à 2.500 mètres, ce qui donne une hauteur superposée de 1.795 mètres seulement. Il bénéficie, comme le précédent, du passage sous le thalweg de deux vallées, à 680 et 1.000 mètres de profondeur. Il prévoit un maximum de température de 35°, soit donc 5° gagnés sur les tracés rectilignes.

Dans ces conditions, la Compagnie du Simplon considère l'entreprise comme pratiquement réalisable, disposant de forces hydrauliques considérables, Rhône et Diveria, elle se propose d'abaisser encore la température de plusieurs degrés, par l'emploi de ventilateurs puissants aux deux têtes, et au besoin par le fonçage de puits d'aérage spéciaux au passage des thalwegs de vallées.

Ce dernier moyen avait déjà été proposé par un ingénieur autrichien, M. Pressel, qui concluait à l'emploi d'un puits auxiliaire à chacune des têtes, l'appel de l'air se faisant, non par un foyer d'aérage, comme c'est le cas habituel des mines, mais par une chute d'eau continue dans l'un des puits, qui refroidirait l'air de ce puits et augmenterait sa densité. La moindre profondeur des puits du Simplon serait de 700 mètres.

La solution la plus pratique serait certainement l'envoi d'une quantité d'air suffisante par des appareils installés aux têtes, et indépendants de ceux qui fournissent l'air à la perforation; c'est ce qui a été fait à l'Arlberg. Mais ce procédé, très bon pour des tunnels de faible longueur, perd une partie de ses avantages dans le cas du Simplon, où la longueur de la conduite atteindrait 10 kilomètres dans la partie qui a besoin de la ventilation la plus

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ANGLETERRE POUR L'ANNÉE 1882.

D'après les rapports des Inspecteurs des mines pour l'exercice 1882, la production minérale du Royaume-Uni a atteint l'année dernière le chiffre le plus fort qui ait encore été constaté. C'est ce qui ressort de la statistique décennale suivante, d'où il résulte, en même temps, qu'il s'est produit, en 1882, un léger ralentissement dans l'extraction du minerai de fer.

Cette réduction a été toutefois compensée par la quantité de métal obtenu, et quant au charbon, sa production a excédé de 2.500.000 tonnes (*) celle de 1881.

I. Production des mines de houille, minerai de fer, argile réfractaire et schiste.

ANNÉES.	CHARBON.	MINERAI de fer.	ARGILE réfractaire.	SCHISTE bitumineux.	TOTAL.
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	156.499.977	11.505.447	2.209.036	1.119.572	171.334.032
1881	154.184.300	11.858.766	1.896.907	1.019.958	168.956.931
1880	146.969.409	11.664.726	1.938.539	894.119	161.466.793
1879	133.720.393	9.387.766	1.455.003	803.207	145.366.369
1878	132.612.063	10.747.227	1.625.586	813.262	145.798.138
1877	134.179.968	12.014.356	1.813.541	838.395	148.846.260
1876	134.125.166	12.159.580	2.071.983	632.656	148.989.385
1875	133.306.485	12.018.594	1.932.294	442.910	147.700.313
1874	126.590.108	11.693.186	2.067.791	362.747	140.713.832
1873	128.680.131	12.094.827	1.742.193	524.095	143.041.246

II. Production des mines métalliques.

ANNÉES.	MINERAI de fer.	MINERAI de cuivre.	MINERAI de plomb.	MINERAI d'étain.	MINERAI de zinc.
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1882	3.596.747	52.135	63.605	12.157	31.267
1881	3.244.657	52.583	63.445	11.788	34.134
1880	3.140.269	51.546	68.547	12.327	26.898
1879	2.483.979	48.738	65.596	13.389	20.887
1878	2.559.333	54.568	74.771	14.220	24.682
1877	2.815.848	65.269	76.471	13.341	24.227
1876	2.637.546	71.741	73.465	12.637	23.670
1875	2.673.899	66.214	70.613	12.611	22.342
1874	2.468.732	72.711	69.545	13.162	18.425
1873	2.715.574	86.256	71.315	14.095	13.545

(*) Les tonnes qui figurent dans la présente statistique sont des tonnes anglaises, comme dans les statistiques analogues déjà publiées aux *Annales*. (Voir 7^e série, t. VI, p. 607 et 628-629; t. VII, p. 612-613.)

il y a dix ans. A cette époque, une prospérité inusitée avait démoralisé les mineurs : ils touchaient de très forts salaires et en profitaient pour travailler à la fois moins longtemps et plus mollement qu'ils ne le faisaient auparavant et qu'ils ne sentent de nouveau la nécessité de le faire. Enfin, le travail est devenu non seulement plus énergique, mais de meilleure qualité. En vue de faire face à l'augmentation considérable de la demande du charbon et du fer en 1873, l'on s'était trouvé amené à employer dans les mines un grand nombre d'ouvriers sans expérience et sans pratique du métier.

Aujourd'hui, au contraire, les bras inhabiles ont été éliminés et l'efficacité proportionnelle de ceux qui restent s'en est accrue. En outre, comme le montrera le tableau comparatif ci-dessous, la proportion des femmes et des enfants employés dans les mines de houille est actuellement beaucoup plus faible qu'elle ne l'était il y a dix ans :

Age et sexe des travailleurs.

1° Sous terre.		1882	1873
Garçons de 10 à 12 ans.		380	1.202
— de 12 à 13 ans.		3.584	11.309
— de 13 à 16 ans.		36.914	45.931
— au-dessus de 16 ans.		365.314	349.366
2° A ciel ouvert.			
Filles de 10 à 13 ans.		1	31
— de 13 à 16 ans.		307	790
— au-dessus de 16 ans.		4.344	5.383
Garçons de 10 à 13 ans.		491	2.070
— de 13 à 16 ans.		8.066	6.957
— au-dessus de 16 ans.		84.586	91.110
		<hr/> 503.987	<hr/> 514.149
Proportion (p. 100) des travailleurs sous terre, au-dessus de 16 ans.	90		85,5
Proportion générale (p. 100) de travailleurs sous terre.	80,1		79,3

En ce qui concerne la mortalité causée par les accidents dans les mêmes mines, l'on avait espéré que les responsabilités imposées aux patrons par la nouvelle loi, intitulée « *Employers liability Act* », aurait pour effet de la diminuer, et, en réalité, cette loi n'a sans doute pas été complètement stérile. Toutefois, depuis deux ans qu'elle est en vigueur, le taux de la mortalité, quoique inférieur à la moyenne décennale, n'en a pas moins été élevé, ainsi que le feront voir les chiffres suivants :

TABLE

TABLE D

DU TON

—

MINÉRALOGIE

Étude sur le bassin de Fuve
exécuter; par M. Villot .

Note sur le bassin houiller de
M. B. Lapierre.

Note sur la flore du bassin h
ler.

MÉCANIQUE

Commission d'étude des moye
sions de grisou dans les ho
des rapports officiels sur le
de 1817 à 1881, dressée a
MM. Petitdidier et Ch. La

Analyse des rapports officiels
survenus en France pend
M. Chemeau.

Recherches expérimentales
des mélanges gazeux expl
Châtelier.

Premier mémoire : Tempér

Deuxième mémoire : Sur la
flamme.

TABLE DES MATIÈRES.

BULLETIN.

Actes de courage et de dévouement. — Accidents arrivés dans et carrières (1883)	
Méthodes d'exécution des grands tunnels	
Le percement des tunnels et la chaleur souterraine; par M. G.	
Statistique de l'industrie minière de l'Angleterre pour l'ann	

LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS
FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1883, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New York.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY.
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — Atti della SOCIETÀ TOSCANA DI SCIENZE NATURALI.
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse ; partie scientifique : archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées.
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — KAISERLICH-KÖNIGLICHE GEOLOGISCHE REICHSANSTALT.
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT-BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE. *Saint-Étienne.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*
23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie.
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR-UND ARCHITECTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — Anales de la SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA. *Buenos Aires.*
26. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN UND INGENIEUR-VEREINS VON HANNOVER. *Hannover.*

ANNALES DES MINES 1883, Tome IV.

BIBLIOGRAPHIE.

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1

OUVRAGES FRANÇAIS.

1^o *Mathématiques pures.*

BODMER (G.). — Solutions des problèmes de mathématiques proposées au concours d'agrégation de 1881; par G. Bodmer, professeur agrégé au lycée. 2^e édition, revue et augmentée.

BOS (H.). — Éléments de trigonométrie rectiligne pour les élèves des lycées et collèges et des candidats au baccalauréat, rédigés conformément aux programmes officiels et contenant de nombreux exercices.

BOVIER-LAPIERRE (G.). — Éléments de trigonométrie rectiligne à l'usage de l'enseignement secondaire spécial et des écoles normales primaires.

BRIOT (C.). — Éléments de géométrie conformes de l'enseignement scientifique dans les lycées.

BRUNEL. — Étude sur les relations algébriques et géométriques des courbes hyperelliptiques du genre 3.

BURAT (E.). — Traité d'arithmétique à l'usage des lycées et collèges et des candidats aux écoles du gouvernement, conforme au dernier programme.

CANONVILLE (J. T.) et T. GIROD. — Géométrie de l'espace, élémentaire, théorique et pratique, conforme aux programmes officiels de l'enseignement secondaire spécial (et de l'enseignement secondaire classique).

COMBESCURE (E.). — Sur les surfaces dont les lignes de courbure sont planes dans un système seulement.

2° *Physique et Chimie.*

- AMPÈRE (A. M.).** — Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience; par André-Marie Ampère.. 2^e édition, conforme à la première publiée en 1826. In-8°, 168 p. et 2 planches. (9514)
- ANGOT (A.).** — Traité de physique élémentaire (programme de l'enseignement scientifique dans les lycées et collèges et programme du baccalauréat ès sciences). (11923)
- BLAREZ (C.).** — Histoire des imides. (7623)
- BOURGEOIS (L.).** — Reproduction par voie ignée d'un certain nombre d'espèces minérales appartenant aux familles des silicates, des titanates et des carbonates. (9823)
- DEROSNE (C.).** — La photographie pour tous, traité élémentaire des nouveaux procédés. (7676)
- DUREAU (G.).** — Étude sur l'extraction du sucre des mélasses. (10668)
- Encyclopédie chimique**, publiée sous la direction de M. Frémy, de l'Institut, directeur du Muséum, par une réunion d'anciens élèves de l'École polytechnique, de professeurs et d'industriels.
- T. 5. Applications de chimie inorganique. 5^e fascicule : le Verre et le Cristal; par M. J. Henrivaux, sous-directeur de la manufacture des glaces de Saint-Gobain. In-8°, iv-534 p. avec 240 fig. et atlas de 26 planches. 30 fr. (7373)**
- **T. 9. 1^{re} section : Chimie biologique; par M. Duclaux, maître de conférences à la Sorbonne. In-8°, viii-908 p. avec 111 fig. 40 fr. (10444)**
- **T. 6. Chimie biologique et chimie physiologique. 2^e section. Chimie des végétaux; par M. Frémy. 1^{re} fascicule : Structure de la plante. In-8°, p. 1 à 156. 5 fr. (10443)**
- FABRE (J. H.).** — Cours de physique, ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels de 1882. (12834)
- **Les Inventeurs et leurs inventions, histoire élémentaire des principales découvertes dans l'ordre des sciences physiques. (7697)**
- **Notions de chimie, ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels de 1882. 3 fr. (13601)**
- GANOT (A.) et G. MANEUVRIER.** — Traité élémentaire de physique. (11225)
- GABRIEL (C. M.).** — Traité pratique d'électricité, comprenant les

BIBLIOGRAPHIE.

V

- TRÈVE (A.).** — Physique moléculaire.
- TROOST (L.).** — Précis de chimie conforme aux grammes.
- TURPIN (E.).** — Notice sur le peroxyde d'azote AzO^2 , et l'acide azotique AzO^2HO .
- VAN LOOY (H.).** — Le Cabinet du Docteur noir, physique.
- VILLE (J.).** — Propriétés générales des phénols.
- VIOLLE (J.).** — Cours de physique.

3° Géologie, minéralogie, métallurg

- BELGRAND (E.) et J. R. BOURGUIGNAT.** — La Seine. risien aux âges antéhistoriques : par E. Belgrand, général des ponts et chaussées, directeur des eaux de la ville de Paris. 2^e tirage. Planches et paléontologie d'un catalogue des mollusques terrestres et aquatiques des environs de Paris à l'époque quaternaire, par J. R. Bourguignat. In-4°, 96 pages et 48 planches.
- BELGRAND (E.).** — La Seine. I. Le Bassin parisien aux âges historiques ; par E. Belgrand, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des eaux et des égouts de la ville de Paris. 2^e édition. Texte.
- BLEICHER,** professeur d'histoire naturelle à l'Ecole de pharmacie. — Recherches de minéralogie microscopique sur la roche de Thélod et sur le basalte d'Essey-la-Croix. In-8°, 120 pages et planches.
- BOURGEAT.** — Géologie : Note orographique sur la région comprise entre Genève et Poligny.
- CAMPAGNE (E.).** — Les Mines, or, argent, fer, cuivre, zinc, mercure et platine.
- COLLADON (D.).** — Résumé historique des études des travaux d'excavation entrepris en France et en vue de l'exécution d'un chemin de fer sous la mer. Signalements et détails officiels sur les premières perforations mécaniques et l'aération des longs tunnels comprimés ; Examen des procédés les plus économiques pour le transport des grandes forces motrices.
- DELAINE (A.).** — Les progrès de la géologie et la géologie de l'univers.
- DÉRY (E.).** — Études sur la fonderie : Recherches

- de Ranclé (Ariège); par A. Fougerousse, secrétaire général adjoint de la Société d'économie sociale. In-8°. 16 p. Paris. 1 fr. (7397)
- GÉRARDIN (A.). — Cours de mécanique expérimentale à l'usage des élèves de l'enseignement secondaire spécial et des écoles professionnelles, contenant 181 figures. (13377)
- HARRAND (C.) et E. BADOIS. — Les Ascenseurs hydrauliques pour bateaux : Notice sur l'ascenseur hydraulique pour bateaux (système Edwin Clark). (12861)
- SEYRIG. — Les Ascenseurs hydrauliques. (12951)
- TRESCA. — Cours de mécanique appliquée, professé à l'École centrale des arts et manufactures. (8657)

5° Constructions. — Chemins de fer.

- AMOUDRUZ (V.). — Assainissement de Paris : Le tout à l'égout rationnel obtenu par la vidange hydraulique : mémoire présenté à la commission technique d'assainissement de la ville de Paris. (7284)
- BARRÉ (H.). — Formules et tables numériques destinées à faciliter et à abréger les calculs concernant la topographie, les routes et les constructions; par H. Barré et L. Roussel, professeurs à l'École forestière. Supplément par H. Barré. In-8°, 54 p. (12546)
- BELGRAND. — Les travaux souterrains de Paris; par M. Belgrand, de l'Institut. Tomes 3 et 4. Première partie : les Eaux; première section : les Anciennes eaux; deuxième section : les Eaux nouvelles. 2 vol. In-8°. Première section, x-783 p. avec fig. et atlas in-f° de 29 planches; deuxième section, viii-400 p. avec portrait de l'auteur, gravures et atlas in-f°. Prix 125 fr. (11642)
- BLANC (C.). — Grammaire des arts décoratifs. Décoration intérieure de la maison. (9246)
- Chemins (les) de fer stratégiques; par un ancien élève de l'École polytechnique. (11180)
- FRANCO (L.). — Communication sur le chemin de fer métropolitain de Paris. (11502)
- GOPIL (F.). — La Perspective expérimentale, artistique, méthodique et attrayante, ou l'Orthographe des formes, science indispensable aux amateurs et artistes, aux photographes, aux peintres, sculpteurs, etc. (6906)
- HUSSON (J.). — 15^e édition du tarif des façons et marchandises de serrurerie adopté dans tous les ateliers de Paris. (6911)

BIBLIOGRAPHIE.

- CANET (G.).** — Étude d'un frein hydraulique p millim., modèle 1877.
- CHABAUD (N.).** — Des accidents observés dans les comprimé employés aux travaux sous-marins ment de ceux dus à une décompression trop br moyens d'y remédier).
- CHARDON (C. A.).** — Cours pratique de dessin linéai et d'architecture, ouvrage à l'usage des écoles des cours d'adultes, des arpenteurs, etc. : géom et dessin linéraire élémentaire.
- COCHIN (D.).** — La Compagnie du gaz et la Ville d négociations, rapports.
- DARY (G.).** — La navigation électrique.
- DÉSORTIAUX (E.).** — Rapport fait au ministre de la mission en Autriche et en Allemagne (10 septer 1880).
- DOUMENJOU (H.).** — Études sur la revision du co Reboisements en France et en Algérie.
- DUBUS (F.).** — Les conventions de l'État avec les s pagnies de chemins de fer, causes, objet, con solution : économie de deux milliards et pas d'en observations soumises au gouvernement, au Chambre des députés.
- DURAND-CLAYE (A.).** — Note sur l'utilisation agrico des eaux d'égout de la ville de Paris (essais de C
- DUSSIEUX (L.).** — Le Siège de Belfort.
- FAUCHER (L.).** — Le grand hiver de 1879-80 et Loire à Saumur, communication faite à la Socié
- FOCILLON (A.).** — Cours élémentaire d'histoire n d'après le nouveau programme de l'enseigne des lycées.
- GIAOD (F.).** — Trigonométrie pratique réduite à l triangles, à l'usage des écoles normales prima primaires supérieures et de toutes les personnes d'opérations sur le terrain.
- LEFEBVRE (A.).** — Action de l'huile pour calmer l mer et dérider la surface des eaux.
- LOIR (E.).** — Suppression du chaînage dans le n lever des plans, méthode simple, précise, i simultanément la configuration et le relief des t étendue.

BIBLIOGRAPHIE.

nate de potassium. Réunions publiques organisées par la Société centrale d'agriculture de l'Hérault à l'école d'agriculture Montpellier le 3, le 6 et le 7 mars 1883. (86.

ROYAUME ANGLAIS.

- Parliamentary. Channel tunnel...* Le tunnel de la Manche, rapport du comité. 0',65.
- *Mines. Inspector's...* Rapport des inspecteurs des mines pour 1882. 25 fr.
- *Railway returns...* Rapport sur les chemins de fer pour 1882. 1',50.
- *Channel tunnel...* Comité du tunnel de la Manche. Rapport et dépositions. 8',75.
- *Electric lighting...* Éclairage électrique. Ordres provisoires. Rapport et dépositions. 2',20.
- *Railways. General...* Chemins de fer. Rapport général pour 1882. 0',35.
- — *Continuous...* Freins continus. Rapports jusqu'au 30 juin 1883. 1',60.
- *East India...* Chemins de fer de l'Inde. Rapport pour 1883. 1',15.
- *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer. Rapport général pour 1882. 0',75.
- — Rapports jusqu'au 30 juin 1883. 2',60.
- GRISLEY. *A glossary...* Dictionnaire des termes usités dans l'exploitation des mines. In-8°, 306 p. 6',25.
- COLE. *Geological rambles...* Excursions géologiques dans le Yorkshire. In-8°. 1',25.
- Challenger Report...* Rapport sur les résultats scientifiques du voyage du *Challenger* pendant les années 1873-76; préparé sous la direction de feu C. Wyville Thomson et aujourd'hui de J. Murray. Zoologie. Vol. 7. In-4°. 37',50.
- GLAISHER. *Factor table...* Table des facteurs pour le sixième million, contenant le dernier facteur de chaque nombre non divisible par 2, 3 ou 5, entre 5.000.000 et 6.000.000. In-4°. 25 fr.
- GLADSTONE and TRIBE. *The chemistry...* La chimie des batteries secondaires de Planté et Faure. In-12, 60 p. 3',15.
- GRAHAM. *Graphic...* Statique graphique et analytique; théorie comparaison. In-8°, 382 p. 20 fr.

OUVRAGES SUISSES.

- O. HEER. *Flora fossilis arctica. Die fossile...* Flore fossile des régions polaires. Zurich. In-4°. T. VII, 2^e partie de la flore fossile du Groenland. 275 p., av. 62 pl. et 1 carte géologique. 60 fr.
-

OUVRAGES ALLEMANDS.

- COHEN. *Sammlung...* Collection de microphotographies montrant la structure des minéraux et des roches, exécutées par J. Grimm, à Offenburg. Stuttgart. Livraisons 8 à 10 (fin). In-4°, 32 pl. 40 fr.
- CREDNER. *Geologische Profile...* Profils géologiques à travers le sol de la ville de Leipzig et de ses environs immédiats. Leipzig. In-8°, v-71 p., av. un plan. 6', 25.
- Die wissenschaftlichen...* Les résultats scientifiques de l'expédition de la Vêga ; publiés par A.-E. Nordenskiöld. Edition allemande. Leipzig. In-8°. Livraisons 2 à 6 (tome I, p. 65-384). Chaque livraison 2', 50.
- GREWINGK. *Geologie...* Géologie et archéologie du dépôt marneux de Kunda en Esthonie. Dorpat. In-8°, 72 p., av. 3 pl. 2', 50.
- HELMHOLTZ. *Wissenschaftliche...* Mémoires scientifiques. Leipzig. In-8°. Tome II, 2^e partie, vii p. et p. 481-1021, av. 5 pl. 12', 50.
- JAHN. *Die Electrolyse...* L'électrolyse et son importance pour la chimie théorique et appliquée. Vienne. In-8°, ix-206 p. 5', 50.
- MARTINI UND CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par H. C. Küster, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker, etc.; continué après sa mort par W. Kobelt et H. C. Wein-kauff. Nuremberg. In-4°. Livraisons 319-322; 146 p., av. 28 pl. coloriées. Chaque livraison 11', 25. — Sections 103 et 104; 94 p., 17 pl.; — 66 p., 16 pl. Chaque section 33', 75.
- Palaontologische Abhandlungen...* Mémoires paléontologiques, publiés par W. Dames et E. Kayser. Berlin. In-4°. T. I, fasc. 2, 166 p., 19 pl. (Sur la faune de mammifères fossiles de Punin, près Riobamba, dans l'Equateur).
- BAUME. *Die Kieferfragmente...* Les fragments de mâchoires de la Naulette et de la caverne de Schipka comme preuves de l'existence de races humaines inférieures à l'époque diluvienne. Leipzig. In-8°, iv-46 p. 3', 25.

BIBLIOGRAPHIE.

- Württemberg. Stuttgart. In-8°, xv-326 p., av. 6 p. géologique coloriée. 9',50.
- V. ETTINGSHAUSEN. *Beitrag...* Contribution à la connaissance de la flore tertiaire de l'île de Java. Vienne. In-8°, 19 p., a
- *Beiträge...* Contributions à la connaissance de la flore tertiaire de l'Australie. Vienne. In-4°, 48 p., avec 6 p.
- HANN. *Insel-Studien...* Etudes sur les îles; essai d'une flore fondée sur les conditions orographiques et géologiques. Leipzig. In-8°, iv-208 p., avec une carte en couleur.
- Handwörterbuch der Chemie...* Dictionnaire de chimie. Leipzig. In-8°. T. I, VIII-712 p. 22',50.
- HILBER. *Recente und im Löss...* Coquilles terrestres du Löss, de la Chine. Vienne. In-8°, 40 p., avec 3 pl.
- KÄMPFER. *Ueber die Messung...* Sur la mesure des forces au moyen du volant électrique. Berlin. In-8°, 36 p.
- SCHLEGEL. *Theorie...* Théorie des figures de l'espace homogène. Halle. In-4°, 119 p., av. 9 pl. 15',
- Nova acta d. k. Leop. Carol. deutsch. Akad. d. N.*
- G. STACHE. *Fragmente...* Fragments d'une faune du Miocène d'Afrique, provenant de la région du Sahara. Vienne. In-4°, 50 p., av. 7 pl. 6',75.
- UBLIG. *Die Cephalopodenfauna...* La faune de céphalopodes de Wernsdorf. Vienne. In-4°, 166 p., av.
- V. BAUERNFEIND. *Neue Beobachtungen...* Nouvelles observations sur la période journalière des hauteurs barométriques. In-4°, 50 p., av. 1 pl. 1',90.
- BODLÄNDER. *Ueber das optische...* Sur le pouvoir rotatoire de mélanges isomorphes de dithionates de plomb et de bismuth. Breslau. In-8°, 34 p. 1',25.
- Hess. *Einleitung...* Introduction à l'étude de la géométrie des polyèdres à faces égales et des polyèdres à faces inégales. Leipzig. In-8°, x-472 p., av. 16 pl. 17',50.
- MAKOWSKY. *Die erloschenen Volkane...* Les volcans éteints de Moravie septentrionale et de la Silésie autrichienne. In-8°, 33 p., avec une carte. 2 fr.
- NEUMANN. *Hydrodynamische...* Recherches hydrodynamiques sur les problèmes de l'électrostatique et de l'induction magnétique. Leipzig. In-8°, xl-320 p. 14 fr.
- SCHLESINGER. *Ueber conjugirte...* Sur des formes binomiales conjuguées. Breslau. In-8°, 57 p. 1',25.

BIBLIO

supérieur qui peuvent s'en
In-8°, 20 p., av. 2 pl. 1',50.

SCHUMANN. *Petrographische Studien*
les roches volcaniques du Japon.

TUMLER. *Die elektromagnetische Theorie*
de la lumière. Leipzig. In-8°, 1890.

K.-A. ZITTEL. *Die Sahara...* Le
et géologique. Cassel. In-4°, 1890.

BUSLEY. *Die Schiffsmaschinen...*
construction, leur mode d'emploi.
1^{re} partie, VIII-240 p., av. 3c
et 241-507. 15 fr.

DÜNZ. *Die Anlage...* Etablisse
fer. Leipzig. In-4°. 16^e livraisons.

GRABER. *Die Electricität...* L'él
au transport des forces, à
télégraphie. Stuttgart. In-8°, 1890.

MEISSNER. *Die Kraftübertragung*
grandes distances et la construction
lateurs, pour les constructeurs.
léna. Livraisons 2-5. T. I, p. 1-100.
son 3',75.

BRUNGER. *Kritische Vergleichende*
transport électrique des forces
plus usités. Berlin. In-8°, v-11.

HAARMANN. *Der Reibungswinkel*
wick. In-4°, 25 p. 3',15.

LÜGER. *Theorie der Bewegung*
de fond dans les alluvions d'
VII-67 p. 2',50.

MACH. *Die Mechanik...* Exposé
ment de la mécanique. Leipzig.

PÄRSCH. *Die Sicherung...* Les
contre les dangers qui menacent
les fabriques. Berlin. In-8°. 1890.
145-379. 8',75.

UNLAND. *Handbuch...* Manuel du
In-4°. Livr. 30-34. Chaque liv.

— *Das elektrische Licht...* L
électrique. Leipzig. In-8°. Liv.

BRUNGER. *Schematische Darstellung*
machines électrodynamiques.

BIBLIO

- PIEDBOEUF.** *Pretroleum...* Le gisements, et considérations magne. Düsseldorf. In-8°, 75
- WIRTH.** *Die Armington...* La ma In-8°, 23 p. 2 fr.
- SALABA.** *Die graphische...* Dét teurs à force centrifuge à éne av. 1 pl. 2',25.

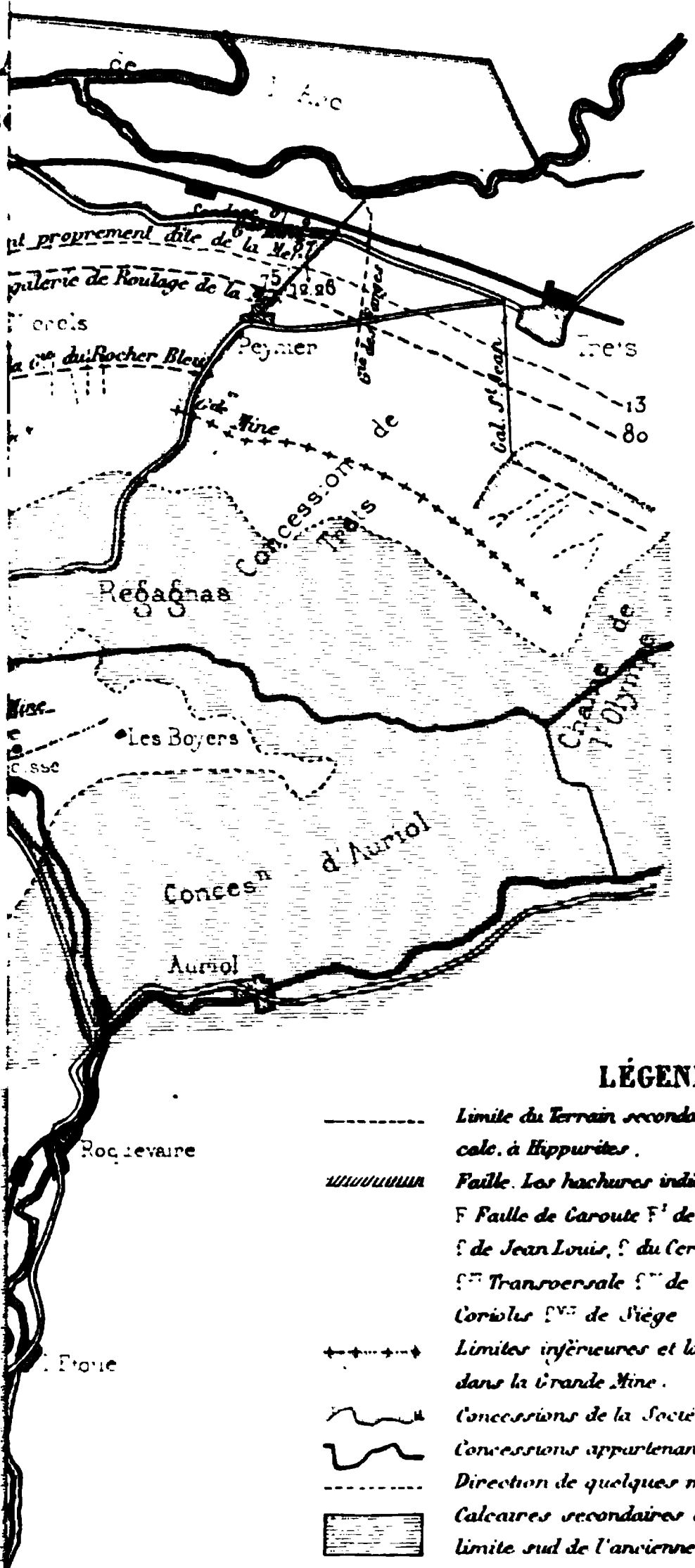
OUVRAGE

- ASCHIERI.** *Geometria...* Géométi In-8°. T. I. VIII-355 p., av. 93
- Atti del Comitato...** Acte du coi Simplon. Domo d'Ossola. In-4
- BOTTERO e MAGISTRELLI.** *Il telef* XII-107 p. 2 fr.
- CASAZZA.** *La legge...* La loi de p siques. Mortara. In-8°, 84 p.
- CATTABENI.** *Del moto...* Du mou Ancône. In-4°, 23 p.
- DEL TORRE.** *Sopra la formazioi* Cules ferrugineux des eaux p
- D'OVIDIO.** *Le proprietà...* Les pr d u second ordre, étudiées su degré, en coordonnées cartési
- ERMACORA.** *Sopra un modo...* S phénomènes électrostatiques: Padoue. Gr. In-8°, XL-468 p.
- GALLI.** *Le correnti...* Les couran minaire. Rome. Gr. In-8°, 34 p (*gresso geogr. internazionale*).
- PIGORI.** *Cenni...* Renseignemen alques dans ces derniers temp
- Relazione seconda...** Deuxième publiques, Direction des chemin mission chargée d'obtenir l types d'armature et de super In-4°, 48 p.
- ADAMI.** *Sulla classificazione...* S

BIBLIOGRAPHIE.

- Licodia-Eubea** (prov. de Catane). Rome. In-4°, 3
(Ext. du même recueil).
- SEGURIA. Studiî geologici...** Etudes géologiques géologiques sur le crétacé moyen de l'Italie septentrionale. In-4°, 150 p., av. 21 pl. (Ext. du même recueil).
- TUCCIMEI. Sulla struttura...** Sur la structure et les chaînes de Fara dans la Sabine. Rome. In-8°, 26 p.
- BALDACCI. Alcune osservazioni...** Quelques observations sur le tremblement de terre survenu à l'île d'Ischia le 2. Rome. In-8°, av. 1 pl.
- DE ZIGNO. Sui vertebrati...** Sur les vertébrés fossiles mésozoïques des Alpes de Vénétie. Padoue. In-4°,
- DI STEFANO. Sopra alcuni fossili...** Sur quelques fossiles inférieurs de Sicile. Palerme, In-4°, 32 p., av.
- FORESTI. Contribuzione...** Contribution à la conchyliologie italienne; second mémoire. Bologne. In-4°, 15
(Ext. des *Mem. dell' Accad. d. scienze dell' Istit.*
- PARONA. Esame...** Examen comparatif de la faune pliocènes de Lombardie. Milan. In-8°, 12 p. (E
contî del R. Istit. Lombardo).
- PARONA e CANAVARI. Brachiopodi...** Brachiopodes quelques localités de l'Italie septentrionale. Pise. av. 3 pl. (Ext. des *Mem. della Soc. toscana d. sci.*
- PIOLTIS e PORTIS. Il calcare...** Le calcaire du Monferrat. Turin. In-8°, 6 p., av. 1 pl. (Ext. des *Accad. d. scienze di Torino*).
- SCACCHI. Della lava...** De la lave du Vésuve de 1^{er} mémoire. Naples. In-8°, 48 p. av. 2 pl. (Ext. de *soc. Italiana delle scienze*).
- SILVESTRI. Sulla eruzione...** Sur l'éruption de l'Etna 1883; rapport au Gouvernement. Catane. In-8°, 8
- BRANDANI. Contributo...** Contribution à la question métalliques pour les chemins de fer nationaux. 37 pages.
- CAPPELLINI. Di un' orca...** Sur un épaulard fossile Catane en Toscane. Bologne. In-4°, 23 p. av. 4 pl
- Esposizione industriale...** Exposition industrielle de Rapports des jurés. — Les industries chimiques miques; par le prof. A. Pavesi.
- Il terremoto...** Le tremblement de terre du 28 ju destruction de Casamicciola dans l'île d'Ischia. G 16 pages.

de divers



LÉGENDE

- Limite du Terrain secondaire ancien y compris le calcaire à Hippurites.
- ~~~~~ Faute. Les hachures indiquent le côté qui est descendu.
F Faute de Caroute F¹ de Boulladisse F² de la Diote
F³ de Jean Louis, F⁴ du Cerisier F⁵ des Muscats
F⁶ Transversale F⁷ de Gilly F⁸ de Saffre F⁹ de Coriolis F¹⁰ de Siège
- + + + + + Limites inférieures et latérales des exploitations dans la Grande Mine.
- ~~~~~ Concessions de la Société de Charbonnages
- ~~~~~ Concessions appartenant à d'autres Sociétés
- Direction de quelques moulins.
- Calcaires secondaires anciens. Partie de la limite sud de l'ancienne vallée de l'Arc.
- Les numéros entre parenthèses sont des cotes de surface.
Les numéros sans parenthèses sont des cotes d'intérieur.
- Puits. a Léonie b Castellane c Prosper d Félicie e du Soleil g du Cerveau h Notre Dame m du Fourneau p Bonaventure.
- + + + + + Affleurement de la 6^{de} Mine

Fig. 4
Plan des abords de la colline de Cornolis

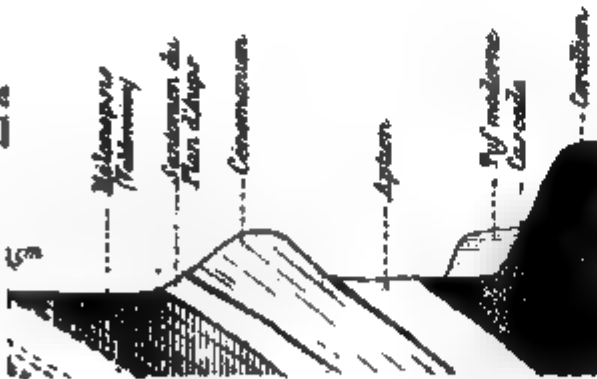


un Endroit où l'on trouve beaucoup de savoir

N-S par la colline de Siège
Echelle: 5000

Function

Fig. 5
as x'y' de
in Fig. 4 Pl



Echelle de la Fig. 1 : 320 000
 0 10 20 30 Kilomètres
 Echelle des Figs 2, 4 et 5 : 15 000
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 10

le de $\left\{ \begin{array}{l} 3,000 \\ 20 \end{array} \right.$ pour le mouvement de l'eau
pour l'eau tombée

Coupe de parton Leonie
Cartellane 3 234 64 de 600 litres soit 1 812 888 800
Cartellane 1 991 629 200 688 119 160
Total des litres 2 257 708 780

Eau tombée pendant l'année 760^m/m



Coupe de parton Leonie
Cartellane 3 201 690 de 600 litres soit 707 891 000
Cartellane 958 853 200 210 963 700

Coupe de parton Leonie
Cartellane 3 273 043 de 600 litres soit 1 733 825 800
Cartellane 718 901 200 882 696 600
S^t Bonaventura Torgge 3 200 607 200 798 109 360
Compagnie 6 896 003 86 568 990 680
Compagnie 10 269 400 30 308 816 272
Epuisement par tonnes 323 136 000

Cours de Gr

Fig. 1

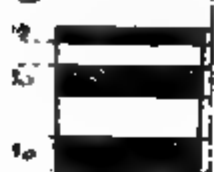


Fig. 2



Fig. 3

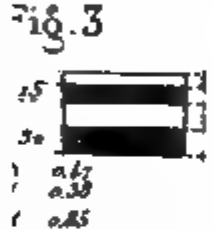


Fig. 5



Fig. 6

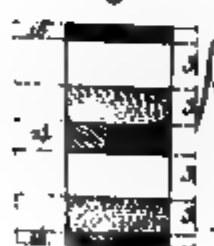


Fig. 7



Fig. 4

Voie de garage

Aiguille en point

Aiguille en talon

Fig. 5

Voie de garage avec voie de sécurité

Voie de sécurité

Fig. 6

contrer ou rejoindre une autre voie principale

Liaison

Traversée

Fig. 7

Liaison

Traversée

Fig. 9

s a voie unique

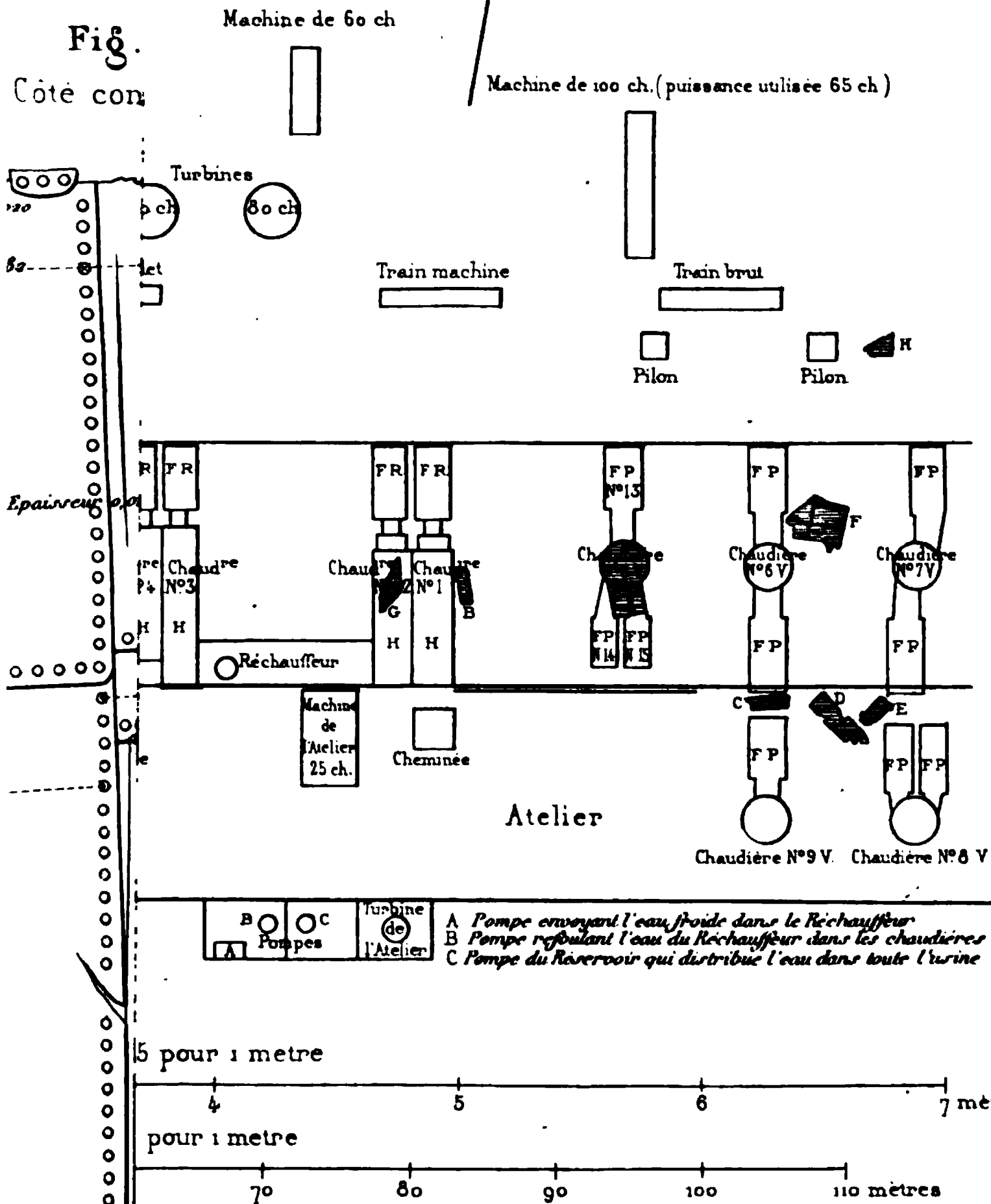
Aiguille en talon

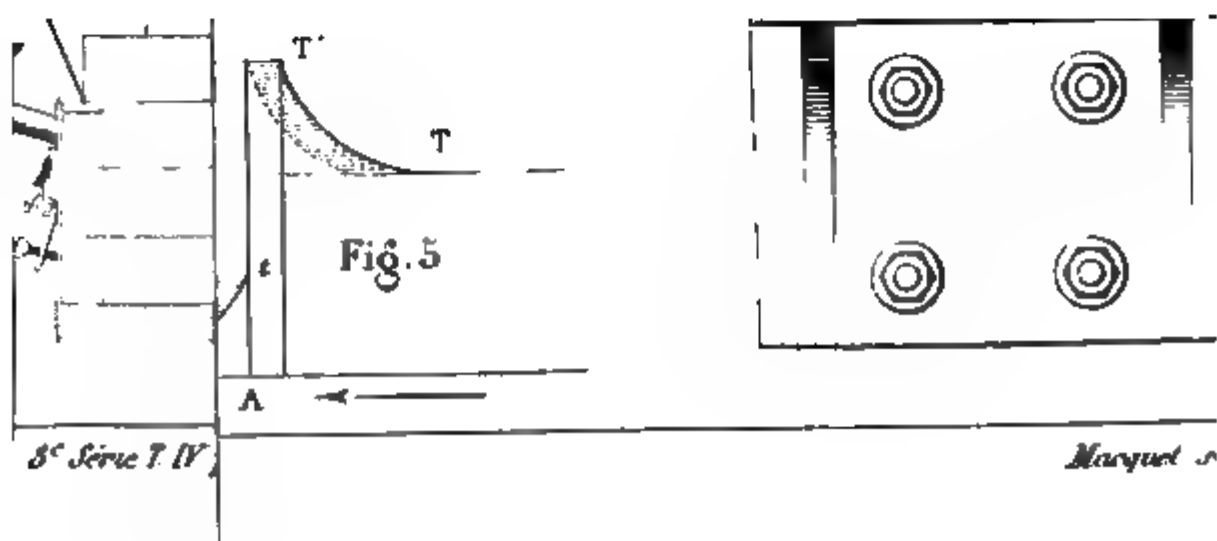
Dédoublement

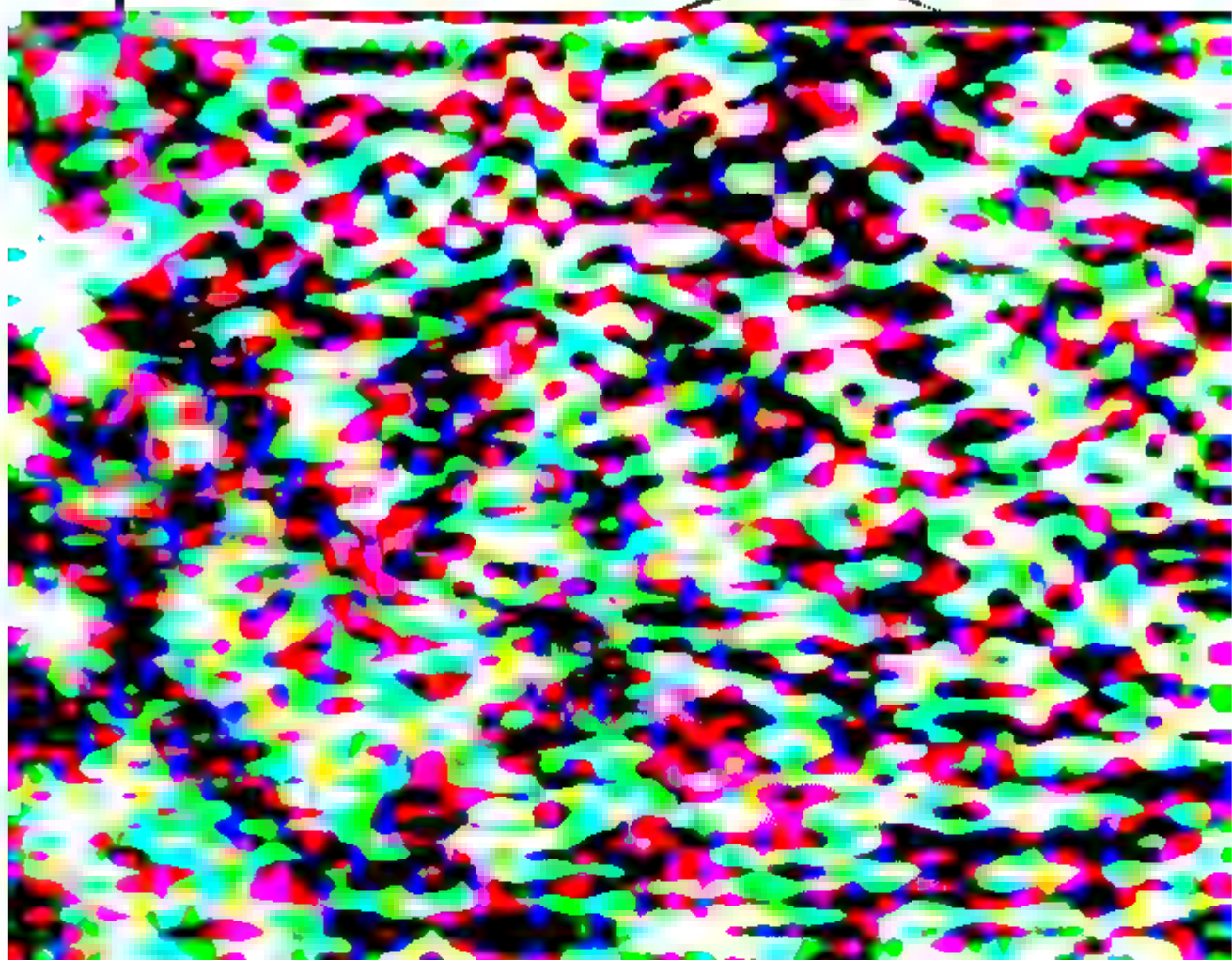
E DE MARNAVAL

TIONS

NORD







lle + 5 des

mant

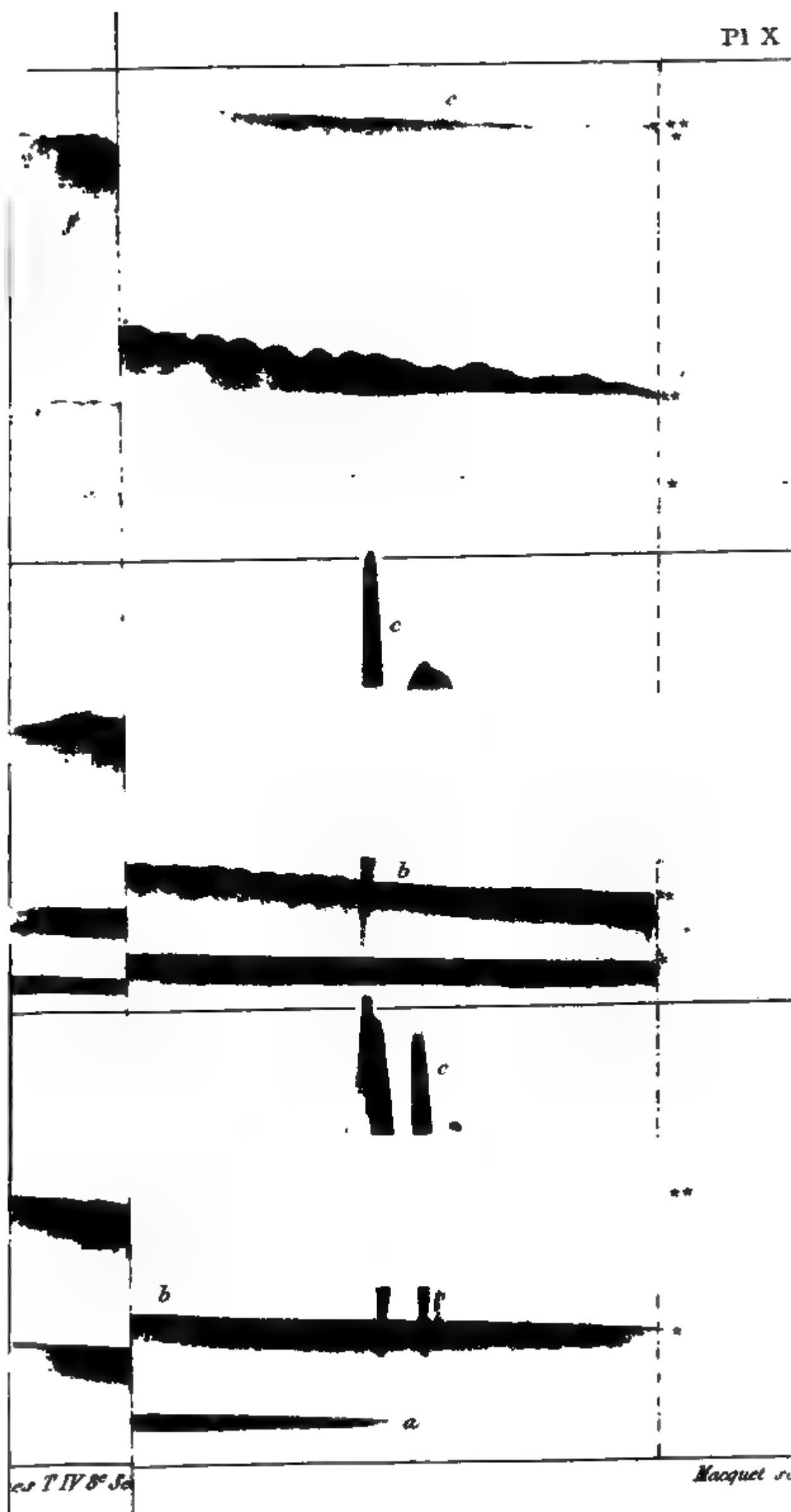


Fig. 7

Fig. 5

TIV 6° Ser

Marquet sc

Fig. 1

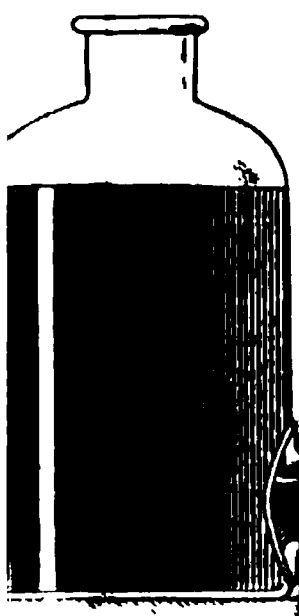


Fig 3

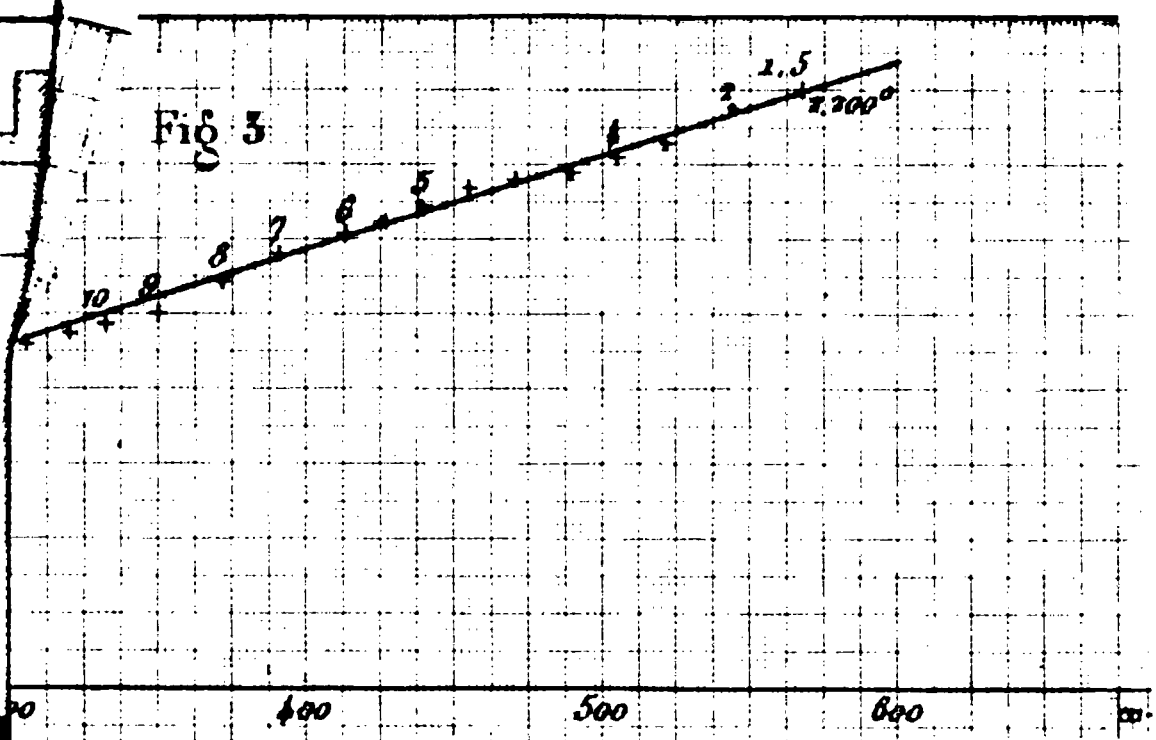
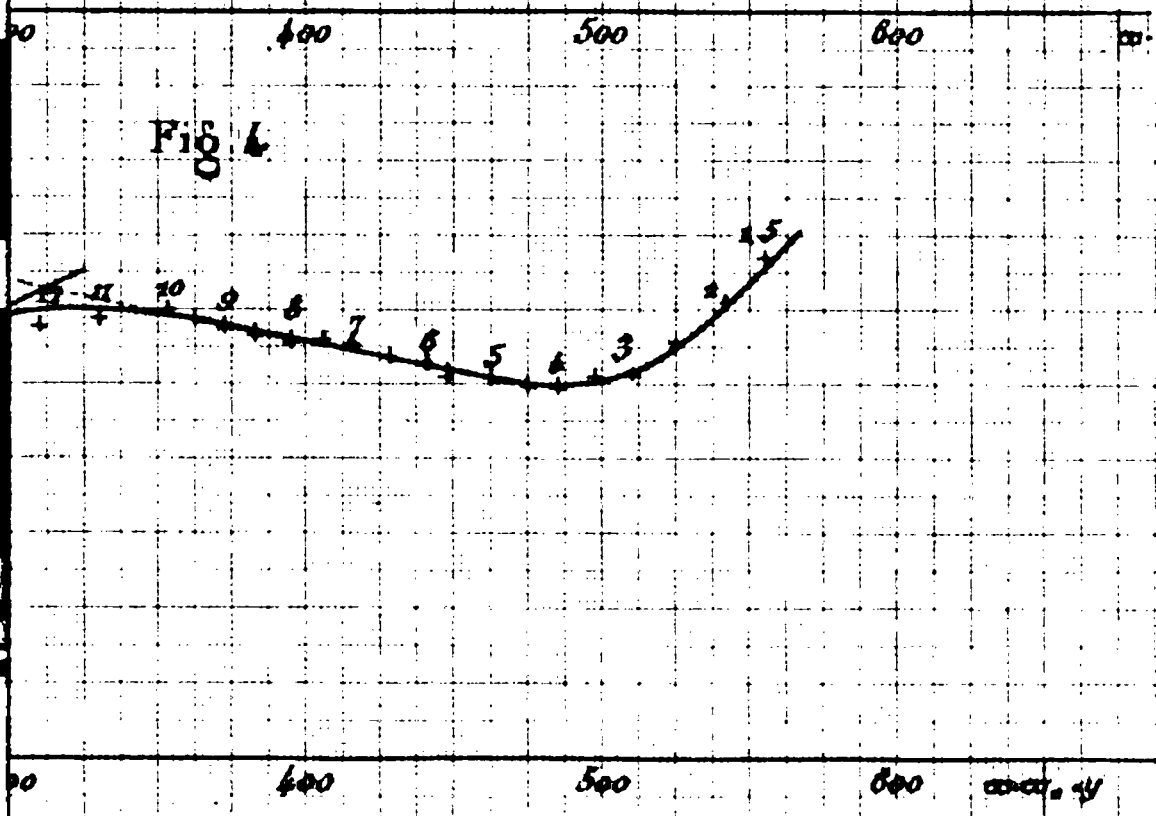
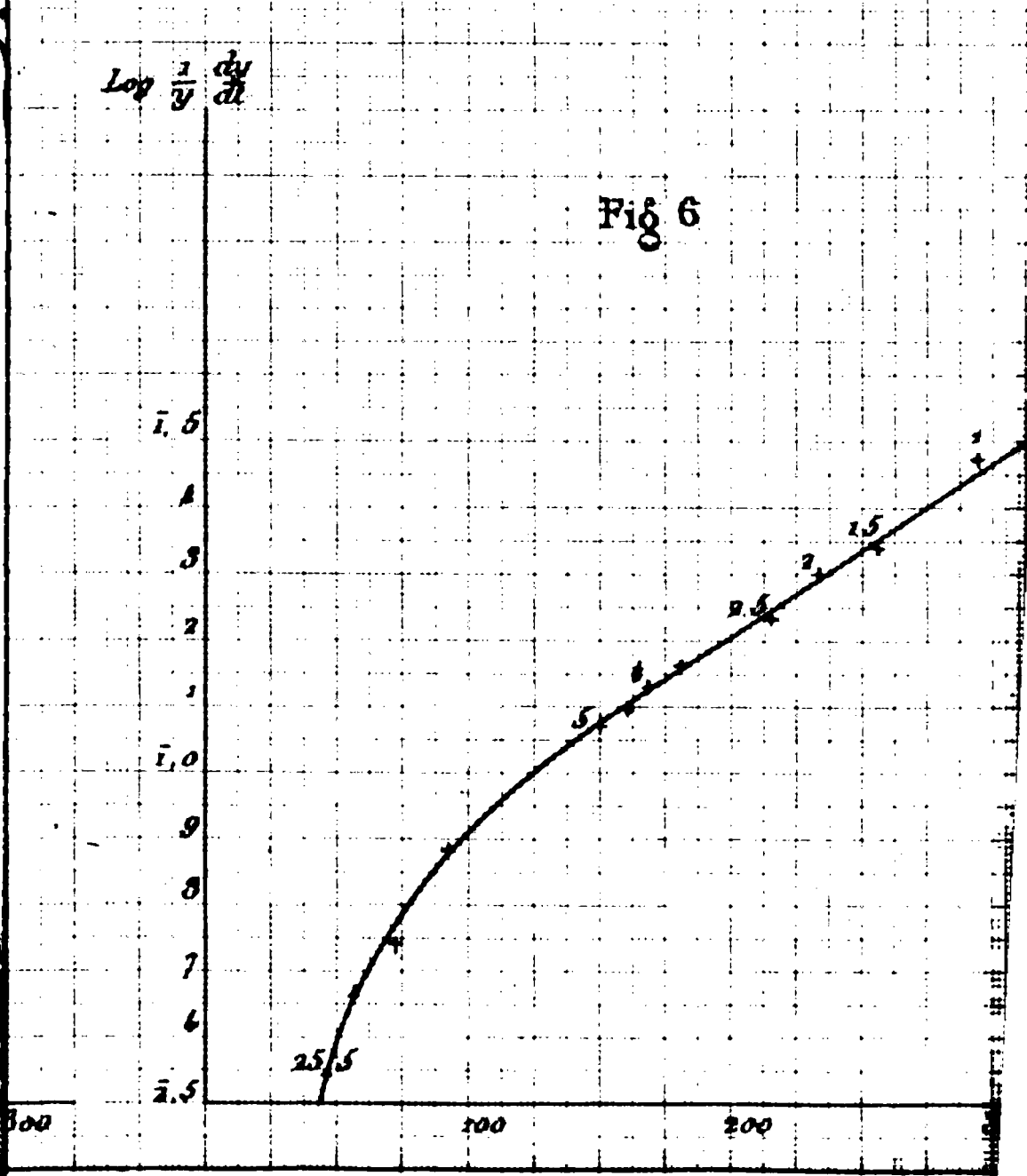


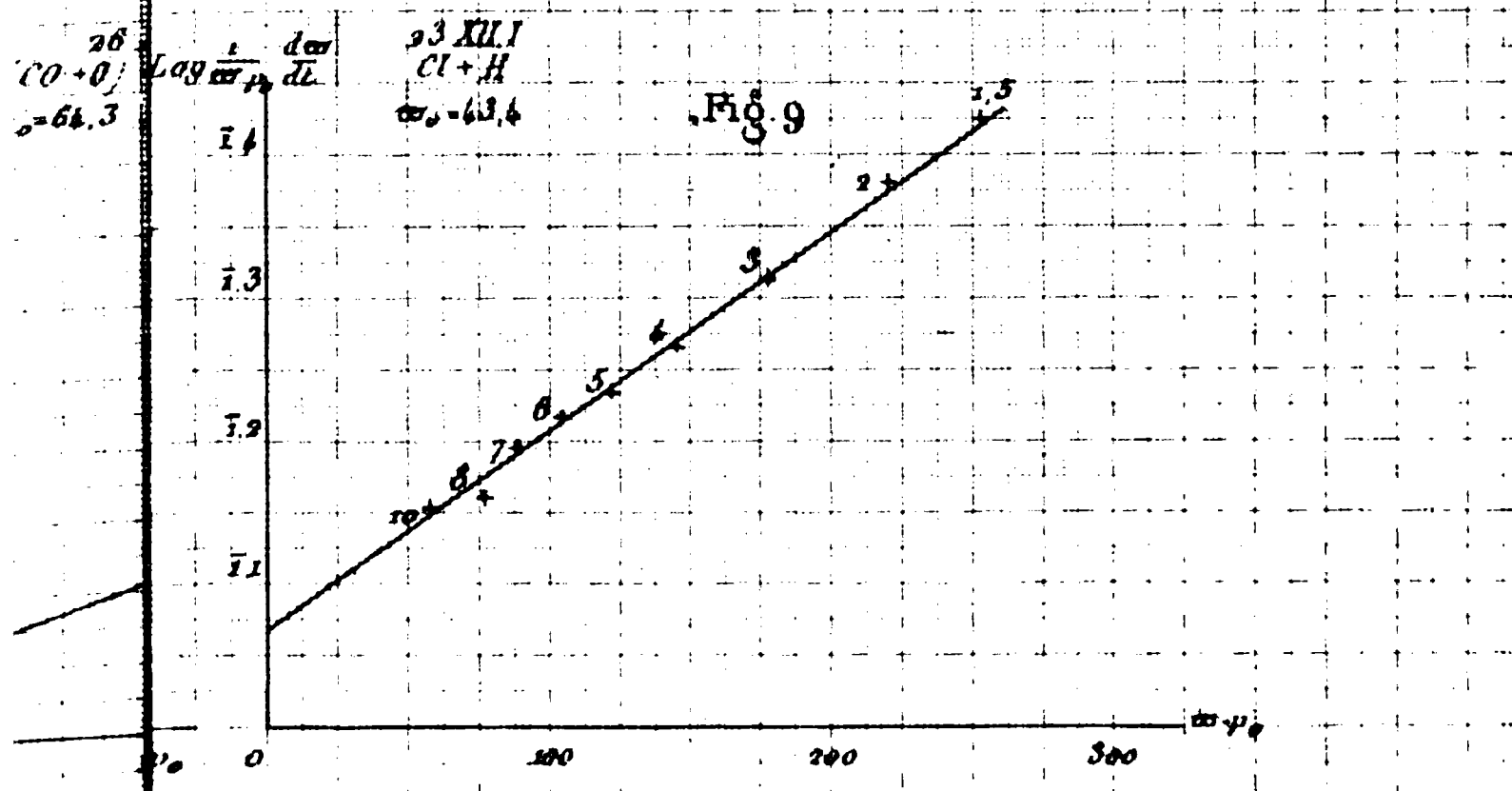
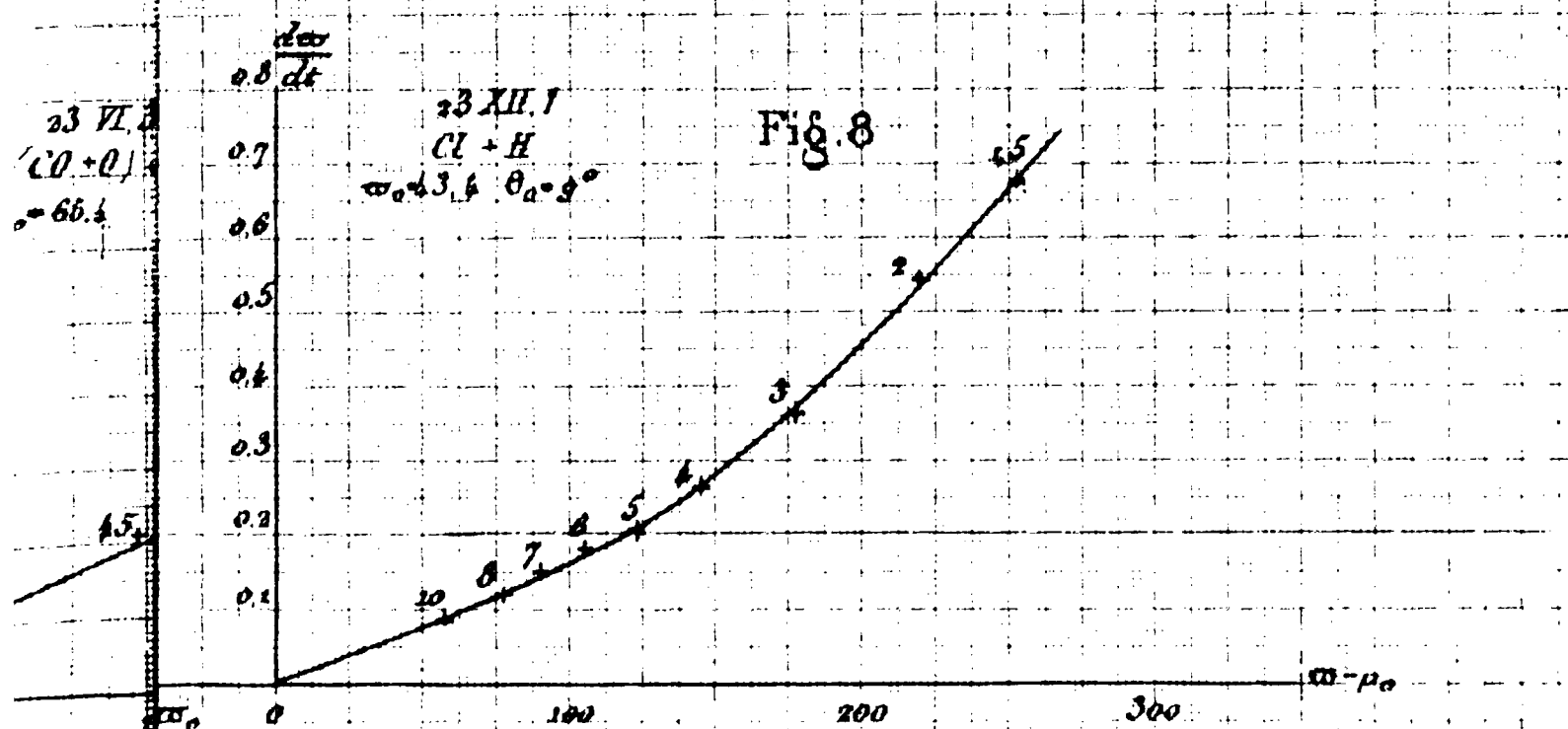
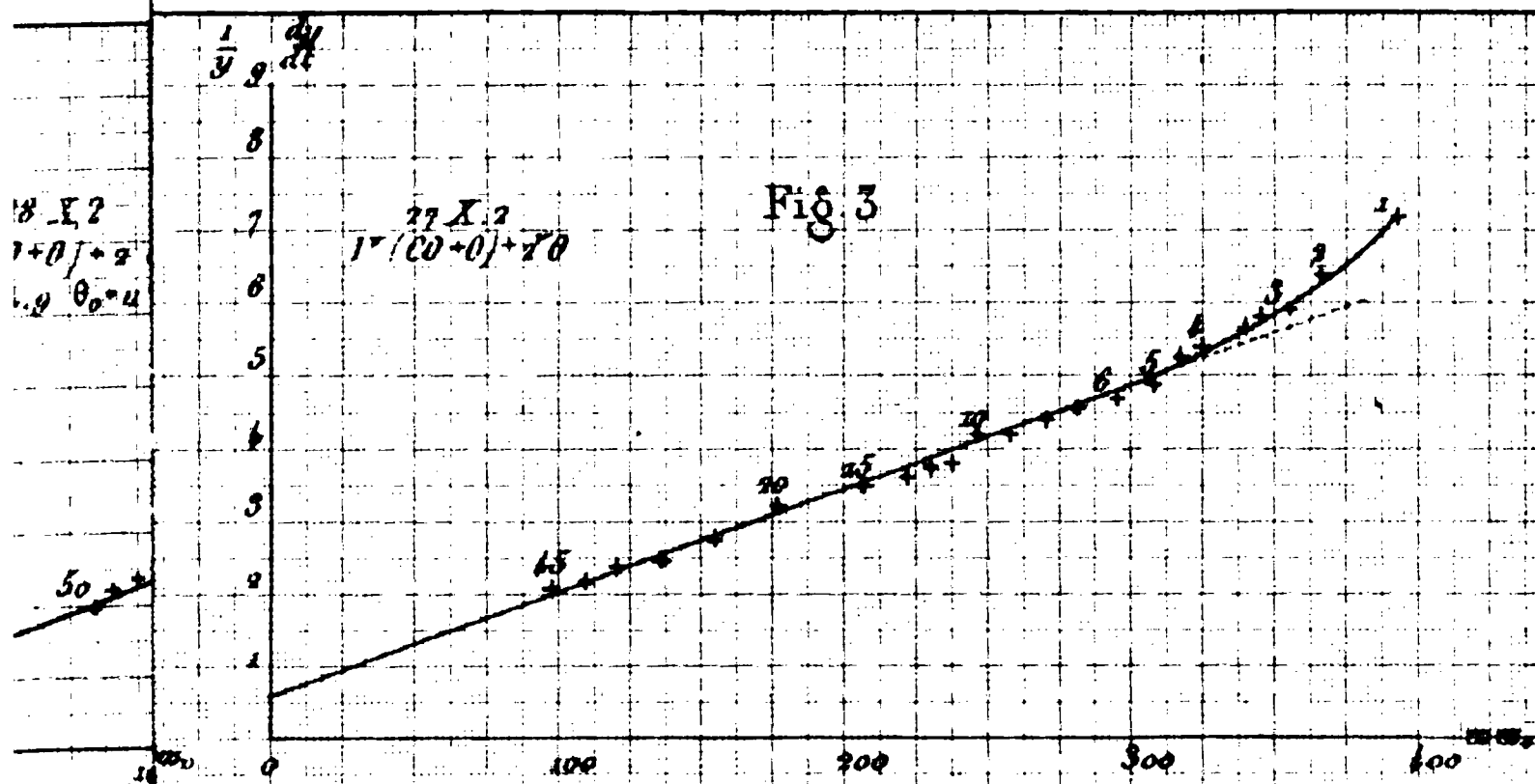
Fig 4

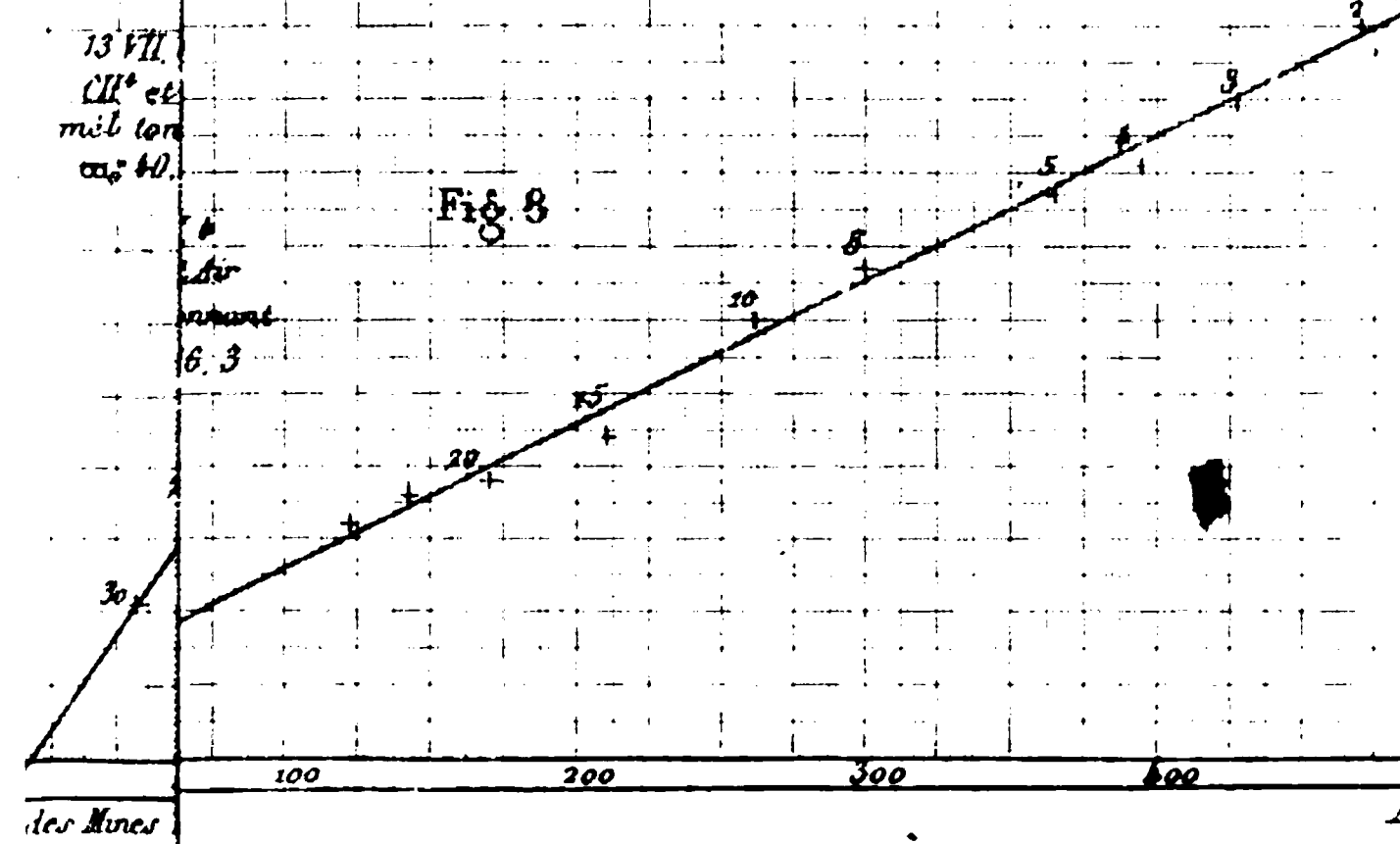
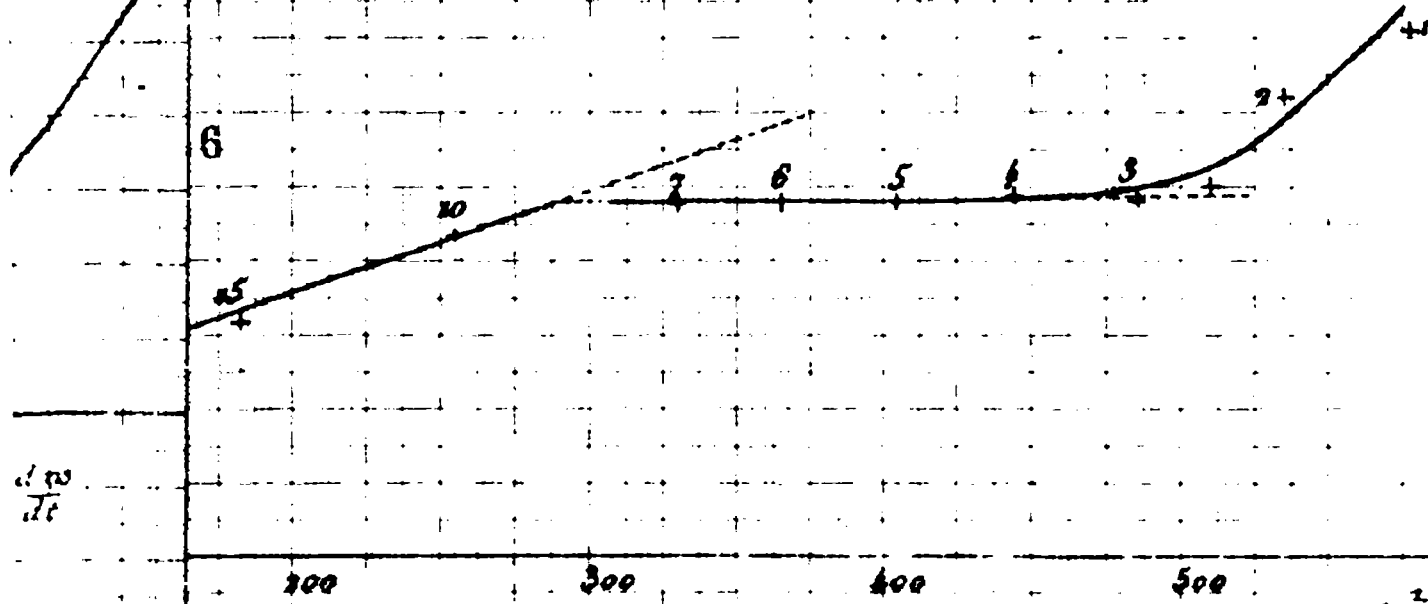
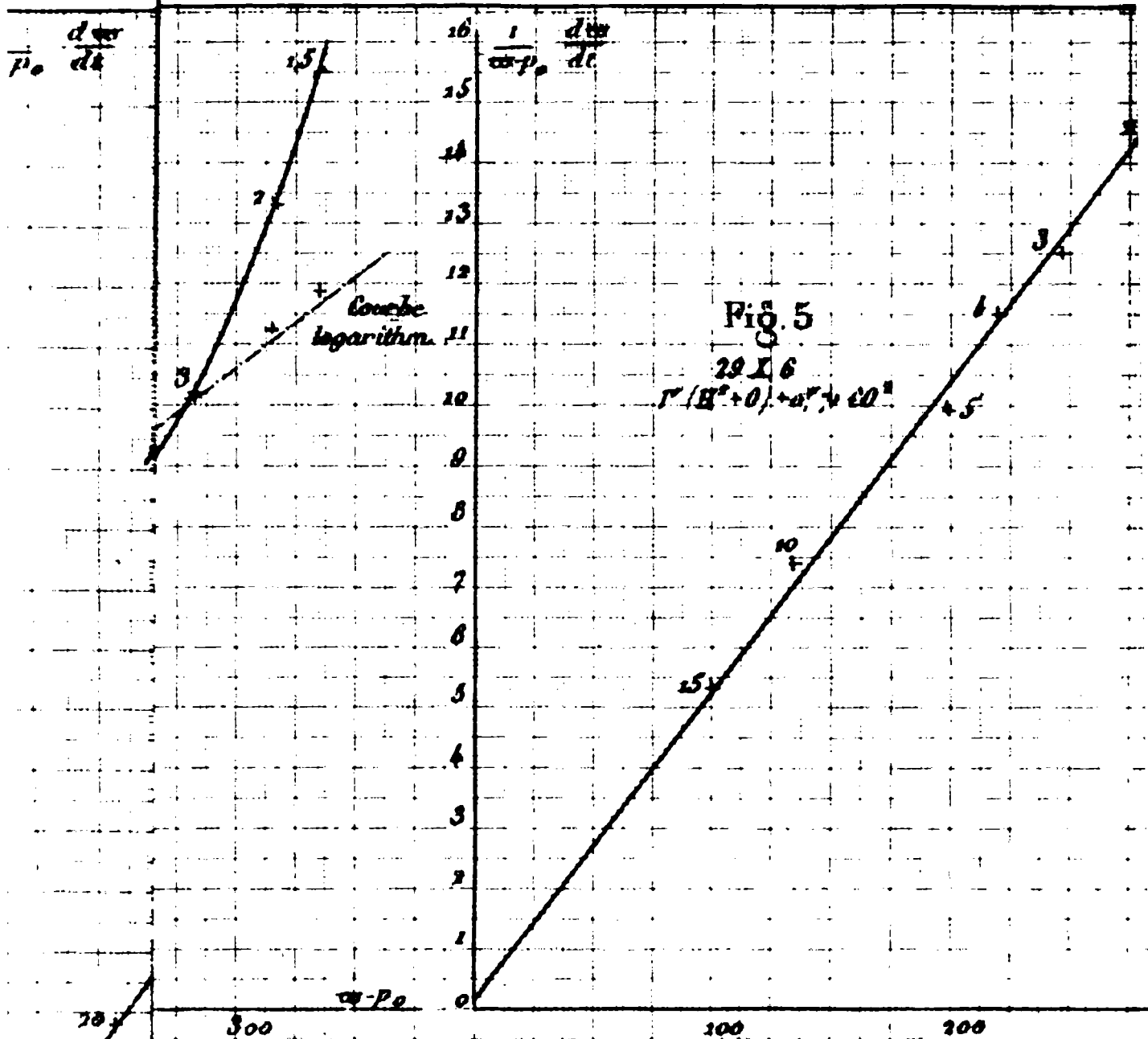


$\log \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$

Fig 6



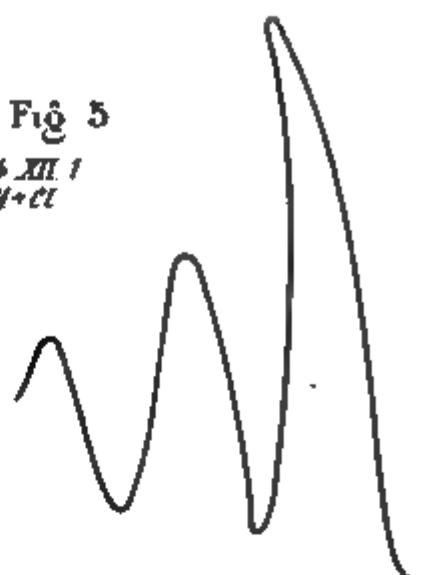




des Mines

sel 0

Fig 5
26 XII 1
H+Cl



Echelle de $\frac{1}{2}$

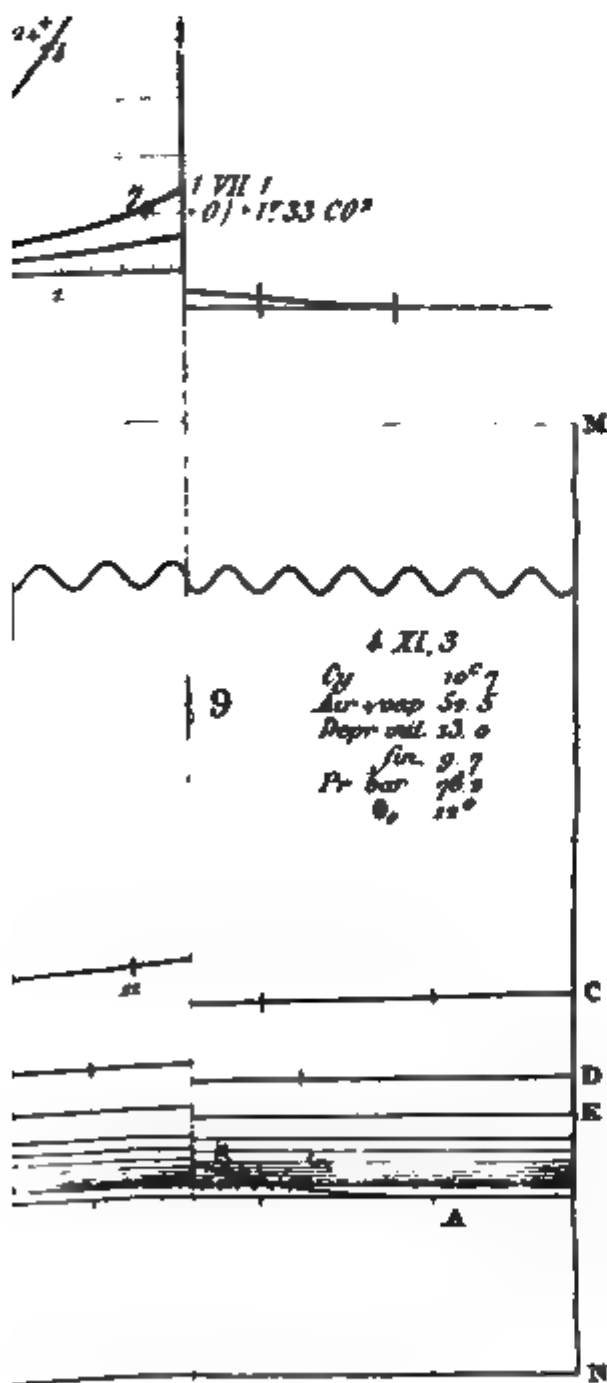
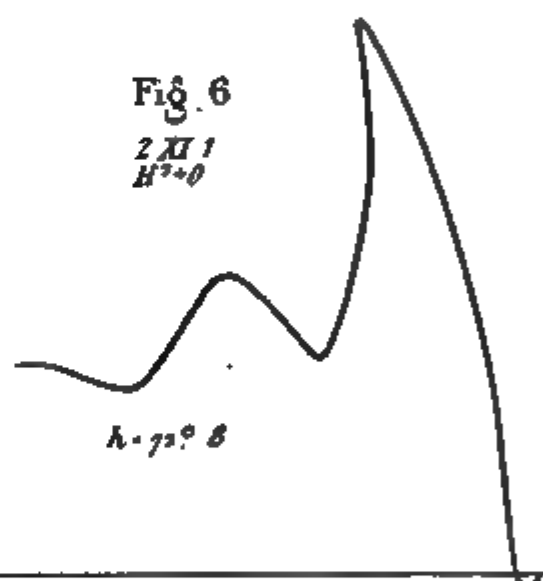


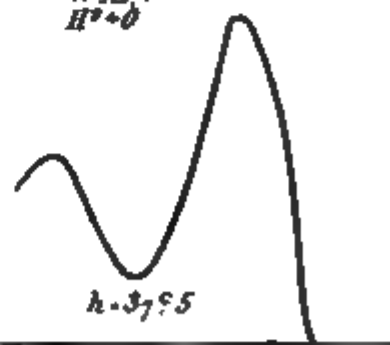
Fig 6
2 XI 1
H²+O



$h = 72^{\circ} 8$

Echelle de $\frac{1}{2}$

Fig 7
11 XI 1
H²+O



$h = 37^{\circ} 5$

Echelle de $\frac{1}{2}$

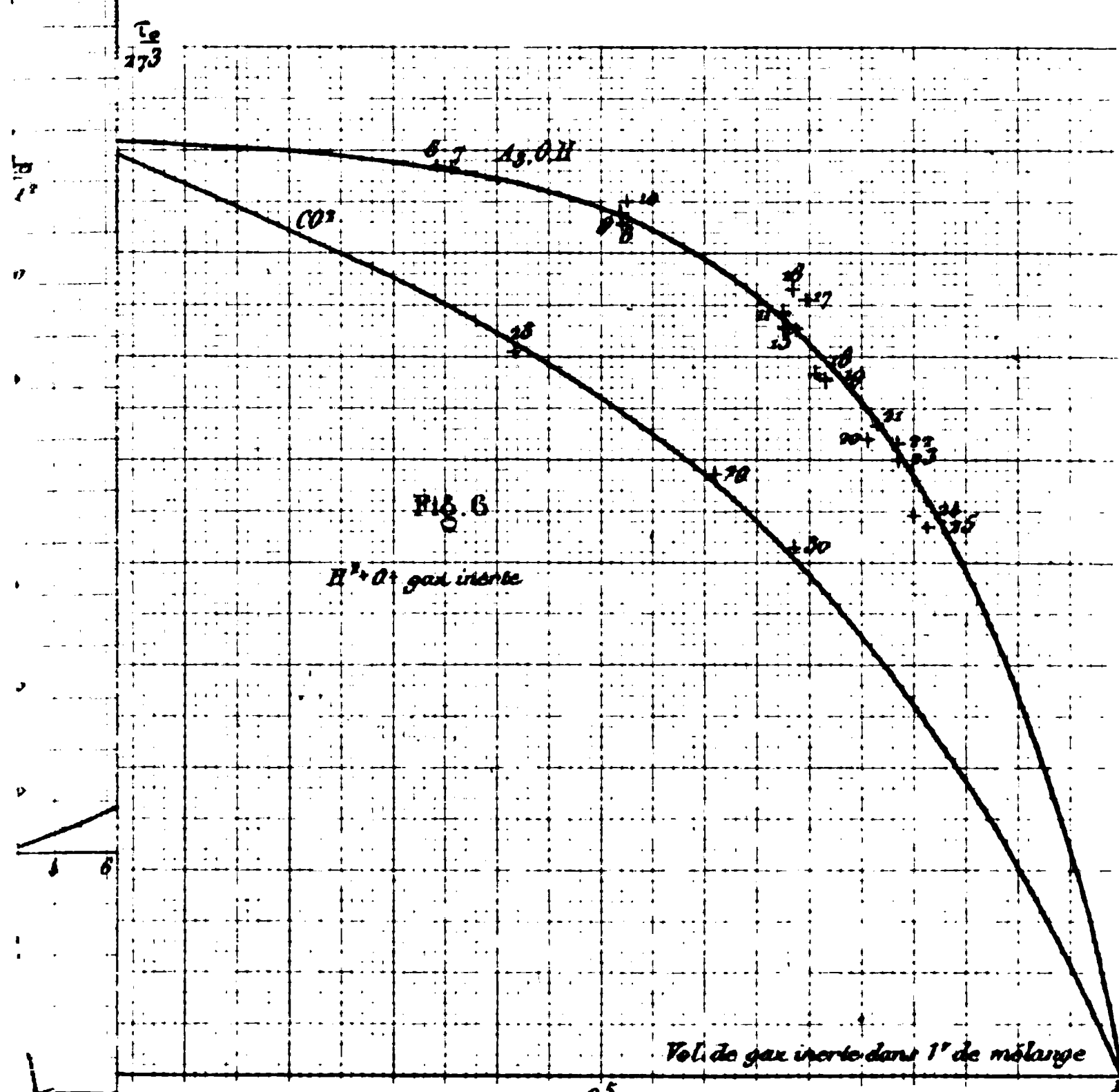
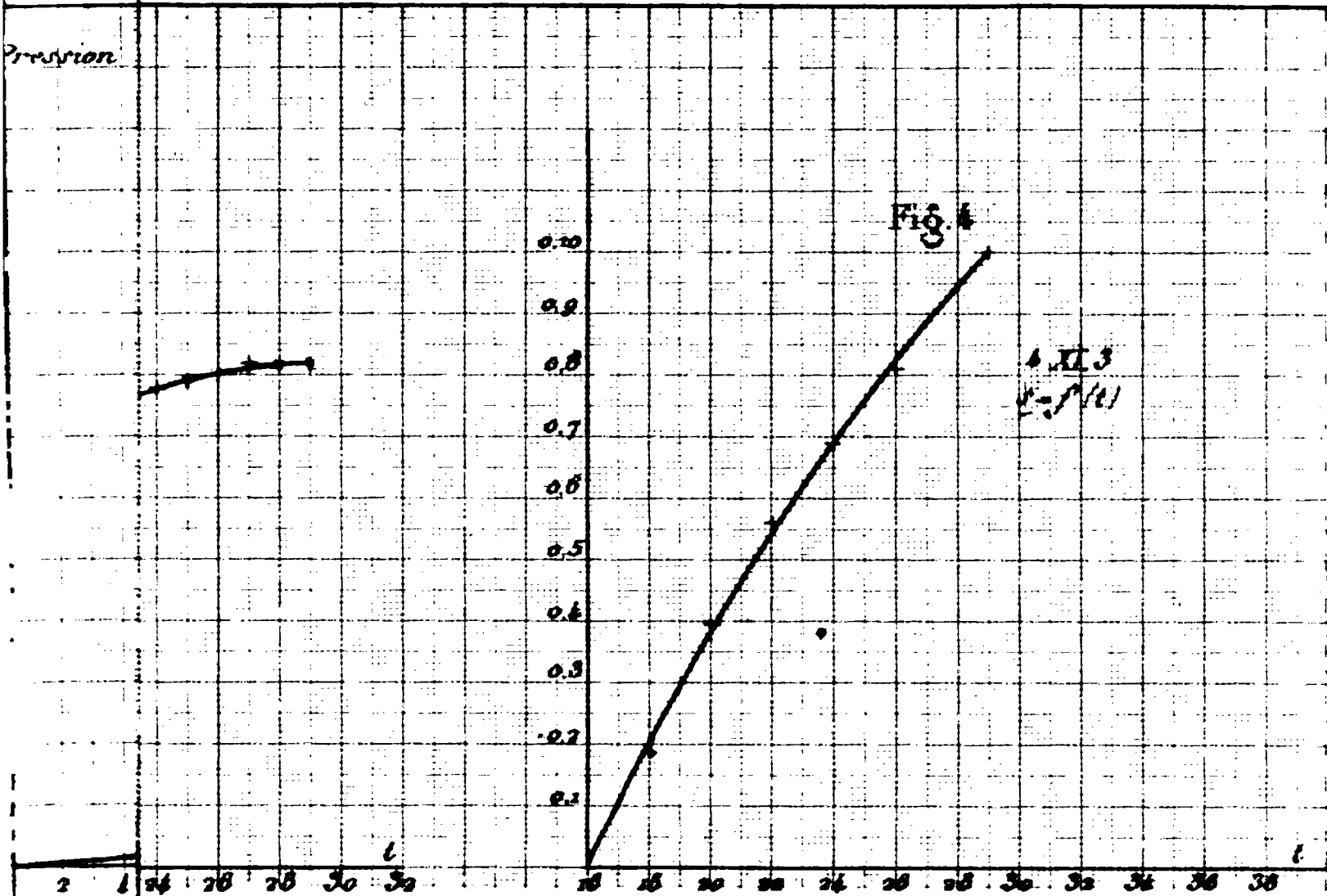


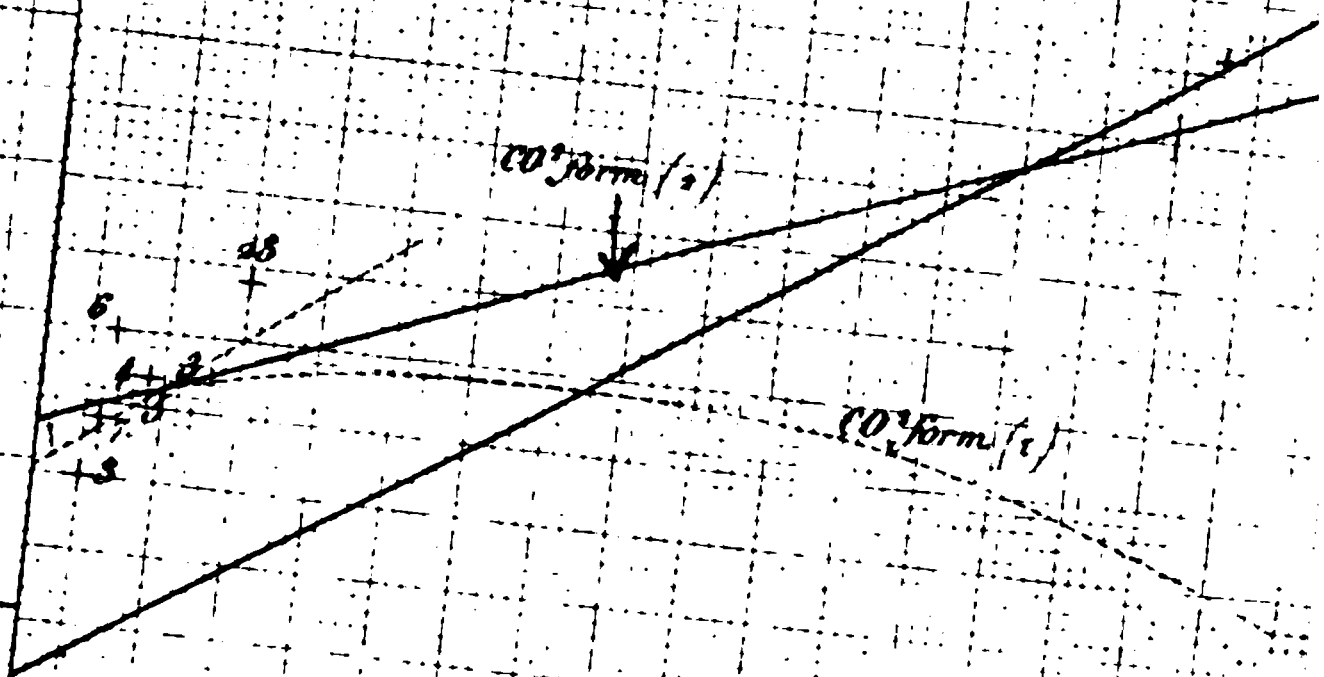


Fig. 2

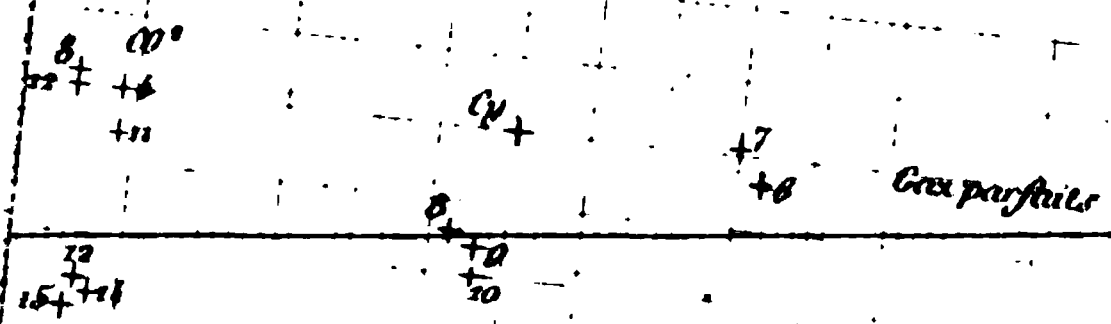
V^+_{+10}

Cl

Vol. de CH^+ dans 1^{er} mélange
0.11 0.12 0.13 0.14 0.15



rs spécifiques moléculaires à volume constant



2000°

3000°

Marquet sc.

ON

PLXVIII

les des Mi

Macquet se



Fig. 2
DIAM

